

Gerd Unterkreuter

Verdunstungsemissionen und biologische Kraftstoffe in
PKW-Kraftstoffspeichersystemen – derzeitige und
zukünftige Herausforderungen

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA (FH)

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCE

Maschinenbau - Mechatronik

Graz, 2009

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reglich

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Ewald Neubacher

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung:

Unterkreuter, Gerd:

Verdunstungsemissionen und biologische Kraftstoffe in PKW-Kraftstoffspeichersystemen – derzeitige und zukünftige Herausforderungen. – 2009. – 108 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fachbereich Maschinenbau-Mechatronik,
Diplomarbeit, 2009

Referat:

Das Ziel der Diplomarbeit ist es, anhand von zwei Schwerpunktthemen für Kraftstoffspeichersysteme in PKWs einen Überblick über Auswirkungen, sowie erforderliche Maßnahmen zu geben. Als erster Schwerpunkt werden Verdunstungsemissionen behandelt, welche durch steigende Anforderungen aus Gesetzgebung und Vorschriften eine Herausforderung darstellen. Als zweiter Schwerpunkt werden biologische Kraftstoffe beleuchtet, welche durch ansteigende Verbreitung am Markt zunehmend an Wichtigkeit gewinnen. In beiden Fällen erklärt die Diplomarbeit jeweils im ersten Schritt allgemeine Hintergründe und Begrifflichkeiten, gibt einen Überblick über aktuelle Anforderungen sowie solche, die durch Neuerungen entstehen werden und informiert weiters über technische Lösungsmöglichkeiten, sowie Auswirkungen auf die Entwicklungserprobung von Kraftstoffsystemen.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Graz, 27.07.2009

Gerd Unterkreuter

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde zwischen Januar und Juli des Jahres 2009 in Zusammenhang mit meiner beruflichen Tätigkeit als Bauteilverantwortlicher für Kraftstoffsysteme im Bereich Fahrwerkentwicklung der Firma MAGNA STEYR FAHRZEUGTECHNIK erstellt und beschließt mein postgraduales Studium an der HOCHSCHULE MITTWEIDA in der Studienrichtung Maschinenbau – Mechatronik.

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Studiendekan Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reglich für die Betreuung seitens der Hochschule und sein Interesse an dieser Arbeit bedanken.

Mein Dank gilt auch Herrn Dipl.-Ing. Ewald Neubacher, Gruppenleiter der Entwicklung Kraftstoffsysteme im Bereich Fahrwerk, der die Betreuung der Diplomarbeit seitens der Abteilung Fahrwerksversuch übernahm.

Weiters möchte ich den Kolleginnen und Kollegen der internen Abteilungen Fahrwerkskonstruktion, Fahrwerksversuch, Umwelttechnik und Werkstofftechnik sowie der Fa. Magna Steyr Fuel Systems für die freundliche Unterstützung danken.

Mein besonderer Dank gilt meinen Freunden und Kollegen, die mir während der Diplomarbeit stets zur Seite standen.

Inhaltsverzeichnis:

INHALTSVERZEICHNIS:	V
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VII
DIAGRAMMVERZEICHNIS	IX
TABELLENVERZEICHNIS	IX
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	X
 1 EINLEITUNG	 1
 2 VERDUNSTUNGSEMISSIONEN	 2
 2.1 Allgemeines zu Verdunstungsemissionen in PKW	 2
2.1.1 Arten von Verdunstungsemissionen	2
2.1.2 Permeation von Kraftstoffen	6
2.1.3 Auswirkungen von Verdunstungsemissionen	8
 2.2 Anforderungen und Vorschriften	 9
2.2.1 Vorschriften in Europa	11
2.2.2 Vorschriften in Nordamerika / USA-Bund und Kanada	13
2.2.3 Vorschriften in Nordamerika / Bundesstaat Kalifornien	16
2.2.4 Vorschriften in den restlichen Weltmärkten	20
 2.3 Technische Maßnahmen zur Einhaltung steigender Emissionsanforderungen	 21
2.3.1 Kraftstoffbehälter aus Kunststoff	22
2.3.1.1 Fluorierung von Blasformtanks	22
2.3.1.2 Selar RB-Verfahren bei Blasformtanks	24
2.3.1.3 Blasformverfahren mit Multilayer Material / Coextrusion	25
2.3.1.4 Ship-in-a-bottle Verfahren (SIB)	30
2.3.1.5 Tiefziehverfahren (Twin Sheet –Verfahren)	31
2.3.1.6 Twin Sheet Blow Moulding (TSBM - Verfahren)	37
2.3.2 Kraftstoffbehälter aus Metall	41
2.3.2.1 Merkmale von Metalltanks	41
2.3.2.2 Herstellungsvarianten	45
2.3.3 Vergleichsübersicht zu Tankherstellungsverfahren	47
2.3.4 Aktivkohlefilter	48

2.3.5	Tankkonzepte für Hybridfahrzeuge	54
2.3.6	Maßnahmen bei Leitungssystemen	56
2.3.6.1	Kraftstoffrohre	56
2.3.6.2	Kraftstoffschläuche	58
2.3.6.3	Verbindungsstellen im Kraftstoffsystem	61
2.4	Zusammenfassung und Ausblick	69
3	BIOLOGISCHE KRAFTSTOFFE	75
3.1	Allgemeine Informationen	75
3.1.1	Warum biologische Kraftstoffe?	75
3.1.2	Arten von biologischen Kraftstoffen	80
3.1.3	Technische Daten von Kraftstoffen	82
3.1.4	Gesetzliche Rahmenbedingungen für Biokraftstoffe	83
3.1.5	Kontroversen	84
3.2	Biodiesel	86
3.2.1	Allgemeine Informationen	86
3.2.2	Auswirkungen auf die Kraftstoffanlage	89
3.2.3	Technische Maßnahmen für den Einsatz von Biodiesel	97
3.3	Bio-Ethanol	100
3.3.1	Allgemeine Informationen	100
3.3.2	Auswirkungen von Bio-Ethanol auf die KVA	103
3.3.3	Technische Maßnahmen für den Einsatz von Bio-Ethanol	106
3.4	Zusammenfassung und Ausblick	107
	LITERATURVERZEICHNIS	109

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Quellen von Verdunstungsemissionen im Fahrzeug	3
Abbildung 2: Arten von Verdunstungsemissionen	5
Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Permeationsvorganges.....	6
Abbildung 4: Aufteilung von Emissionszielen nach Baugruppen	10
Abbildung 5: Schematische Darstellung einer ORVR-Betankung	14
Abbildung 6: Schematische Darstellung einer Tankleckdiagnosemessung.....	15
Abbildung 7: Veranschaulichung von Kraftstoffmasse	18
Abbildung 8: Selar Laminatstruktur	24
Abbildung 9: Schematischer Aufbau von 6-Schichtmaterial	26
Abbildung 10: COEX Quetschnaht im mikroskopischen Dünnschnitt	27
Abbildung 11: Ship-in-a-bottle Kraftstofftank	30
Abbildung 12: Herstellungsprinzip des Tiefziehverfahrens	32
Abbildung 13: Aufbau einer 7-schichtigen HDPE Platte	33
Abbildung 14: Schmelzeffluss im Coex-Plattenextruder	33
Abbildung 15: Pressnaht eines Twin-Sheet KKBs	34
Abbildung 16: Verschweißung von HDPE-Mehrschichtplatten	34
Abbildung 17: Schnittbild einer Tankeinfüllstutzen-Anschweißstelle	35
Abbildung 18: Integrierte Tankkomponenten in der Ober- und Unterschale	36
Abbildung 19: Twin Sheet–Kraftstofftank	36
Abbildung 20: Herstellungsschritte im TSBM-Verfahren	38
Abbildung 21: Ventilpositionen in einer TSBM Tankblase	39
Abbildung 22: Schnittdarstellung einer Quetschnaht eines TSBM Kraftstoffbehälters ..	40
Abbildung 23: Varianten von Stahltankmaterialien	45
Abbildung 24: Schematisch Darstellung eines Aktivkohlebehälters	48
Abbildung 25: Schnittmodell eines AKF-Moduls für LEVII und PZEV-Anwendungen ...	49
Abbildung 26: Schematische Darstellung eines AKF-Spülvorganges.....	50
Abbildung 27: Schematische Darstellung einer AKF-Spülluftbeheizungseinrichtung	53
Abbildung 28: Tankkonzept mit integrierter Kraftstoffblase	55
Abbildung 29: Gliederung von Kraftstoffleitungen nach Materialien	56
Abbildung 30: Beispieldarstellung für mehrschichtige Kunststoffrohre	57
Abbildung 31: Struktureller Aufbau von Thermoplasten und Elastomeren	58
Abbildung 32: Aufbau eines vierlagigen Kraftstoffschlauchs	60
Abbildung 33: Beispiel einer aufgeschossenen Kunststoffleitung.....	63

Abbildung 34: Schnellkupplung mit mehreren Dichtungen	64
Abbildung 35: Schlauch-Schelle Standardverbindung	64
Abbildung 36: 2K-Schlauchstutzen	65
Abbildung 37: Multilayer-Schlauchstutzen	66
Abbildung 38: Tankstutzenschnellkupplungssystem für Kunststofftanks	66
Abbildung 39: Emissionsoptimierte Schraubverbindung zw. Tank und Einfüllrohr	67
Abbildung 40: Emissionsoptimierte Schellenverbindung zw. Tank und Einfüllrohr	68
Abbildung 41: Offener und geschlossener CO ₂ -Kreislauf.....	77
Abbildung 42: Übersicht Kraftstoffarten.....	80
Abbildung 43: Herstellungsschritte der Gewinnung von Biodiesel.....	87
Abbildung 44: HDPE Flasche nach Einlagerung in RME	91
Abbildung 45: Probe eines in RME eingelagerten KKB.....	93
Abbildung 46: Mikroskopische Darstellung des Blaseneffekts.....	93
Abbildung 47: Beschädigung eines O-Rings durch Einwirkung von RME	96
Abbildung 48: Herstellungsschritte bei der Gewinnung von Bio-Ethanol	102

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Zeitliches Verhalten von Verdunstungsemissionen	5
Diagramm 2: Permeationsverlust eines KKB bei 40 °C	8
Diagramm 3: Permeationswerte eines fluorierten Monolayer-Kraftstoffbehälter	28
Diagramm 4: Permeationswerte eines COEX-Kraftstoffbehälters	28
Diagramm 5: Emissionsrate bei unterschiedlichem Sperrschichtanteil	29
Diagramm 6: Diffusionsvergleich nach DIN 73379	59
Diagramm 7: Permeationsvergleich von Kraftstoffschläuchen mit Alterungseinfluss	60
Diagramm 8: Normierte Permeationsrate als Funktion des Glasfaseranteils für PA12	62
Diagramm 9: Entwicklung der Emissionsvorschriften in US Kalifornien	69
Diagramm 10: Statische Reichweite der weltweit verfügbaren Primärenergieträger	76
Diagramm 11: Verlauf der Biodieselproduktion in Europa (EU25)	79
Diagramm 12: Weltweite Biodieselproduktion im Jahr 2005	86
Diagramm 13: Einfluss des RME-Anteils auf das Alterungsverhalten von HDPE	90
Diagramm 14: Einfluß der HDPE-Wandstärke auf Plastizitätsverlust durch RME	91
Diagramm 15: Zugversuch von HDPE Material vor und nach RME-Einwirkung	92
Diagramm 16: Temperatureinfluss auf das Quellungsverhalten von HDPE	94
Diagramm 17: Quellungsverhalten von Elastomeren unter Einfluss von Biodiesel	95
Diagramm 18: Weltweite Bioethanolproduktion im Jahr 2006	101
Diagramm 19: Permeationsmessungen eines KKB unter Einfluss von Ethanol	104
Diagramm 20: Einfluss des Ethanolanteils im Kraftstoff auf Materialquellung	105
Diagramm 21: Weltweite Ölförderung zwischen 1900 und 2050	107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grenzwerte für EPA SHED Tests	13
Tabelle 2: Emissionsgrenzwerte der LEV II -Vorschriften in [g HC/Test].....	17
Tabelle 3: Emissionsgrenzwerte der PZEV-Vorschriften in [g HC/Test].....	18
Tabelle 4: ZEV-Quotensystem für große Hersteller	20
Tabelle 5: Gemessene Permeationswerte eines Stahltanksystems	42
Tabelle 6: Vergleichsübersicht über Tankherstellungsverfahren.....	47
Tabelle 7: Vergleich von CO ² -Abgasemissionen verschiedener Kraftstoffe	78
Tabelle 8: Kennwerte von Dieselmotorkraftstoffen	83
Tabelle 9: Kennwerte von Ottomotorkraftstoffen.....	83

Abkürzungsverzeichnis

AEM	Ethylen-Acrylat-Elastomer
AGB	Ausgleichsbehälter
AKF	Aktivkohlefilter
am.	amerikanisch
BTL	Biomass to Liquids (Biokraftstoff 2. Generation)
bzw.	beziehungsweise
CARB	Carlifornian Air Ressources Board
CFD	Computational Fluid Dynamics
CFPP	Cold Filter Plugging Point
CNG	Compressed Natural Gas
CO ₂	Kohlendioxid
COEX-Material	Coextrudiertes Material mit mehrschichtigem Aufbau
d.	deutsch
DVPE	Dry Vapor Pressure Evaluation
ECE	UN Economic Comission for Europe
ECO	Polyepichlorohydrin (Elastomerwerkstoff)
ECO	Polyepichlorohydrin Elastomer
engl.	englisch
ETBE	Ethyl-tert-Butymethylether
FAME	Fatty Acid Methyl Ester (Fettsäure Methylester)
ff.	folgende Seiten
FTP	Federal Test Procedure
gem.	gemäß
gesetzl.	gesetzlich
ggf.	gegebenenfalls
GTL	Gas to Liquids
HC	Kohlenwasserstoffe
HDPE	High Density Poly Ethylen (Polyethylen mit hoher Dichte)
IHU	Innen Hochruck Umformen (engl. Hydroforming)
IV	intrinsische Viskosität
KKB	Kunststoffkraftstoffbehälter
konv.	konventionell
KVA	Kraftstoffversorgungsanlage

LDT	Light Duty Truck
LDV	Light Duty Vehicle (PKW)
LEV	Low Emission Vehicle (am. Emissionsklasse)
LLDT	Light Light-Duty Truck
MDPV	Medium Duty Passenger Vehicle
MDV	Medium Duty Vehicle
MTBE	Methyl-tert-Butymethylether
NMHC	Non Methane Hydro Carbons
NMOG	Non Methane Organic Gases
OBD	On-Board Diagnose
organ.	organisch
ORVR	Onboard Refilling Vapour Recovery
PA	Polyamid
PFT	plastic fuel tank
PKW	Personenkraftwagen
PZEV	Partial Zero Emission Vehicle
RBM	Rated Based Monitoring
RME	Raps Methylester
SHED	Sealed Housing for Evaporative Determination
SME	Soya Methyl Ester
SULEV	Super Ultra Low Emission Vehicle (am. Emissionsklasse)
TAME	tertiärer Amylmethyläther
Temp.	Temperatur
THV	Tetrafluoroethylen hexafluoropropylen vinyliden fluorid (Elastomer)
TLEV	Transitional Low Emission Vehicle (am. Emissionsklasse)
TSBM	Twin Sheet Blow Moulding
u.	und
UDDS	Urban Dynamometer Driving Scedule (am. Testsequenz)
ULEV	Ultra Low Emission Vehicle (am. Emissionsklasse)
Vergl.	Vergleich
vgl.	vergleiche
VOC	Volantile Organic Compounds (d., flüchtige organ. Verbindungen)
zw.	zwischen

1 Einleitung

Entwicklungsingenieuren für PKW-Kraftstoffsysteme ist seit einigen Jahren die Thematik von Kraftstoffverdunstungsemissionen bekannt. Spätestens seit Überarbeitung der Emissionsgesetze in Nordamerika in den 1990er Jahren und der einhergehenden Verschärfung von Standards zur Eingrenzung von Verdunstungsemissionen weltweit haben Kraftstoffsysteme eine technologisch umfassende Weiterentwicklung erlebt. Aus heutiger Sicht ist dieser Trend nach wie vor konstant und fordert eine weiterführende Innovation auf diesem Gebiet.

Als primäres Ziel der überarbeiteten Emissionsstandards gilt der weltweit im Mittelpunkt stehende Umweltschutz. So wird durch verringerte Verdunstungsemissionen ein wesentlicher Beitrag zur Reduktion der Luftverschmutzung geleistet.

Ein weiteres Thema von internationalem Interesse ist die längerfristige Bereitstellung von Kraftstoffen in Hinblick auf die begrenzte Erdölverfügbarkeit. Als Potential für diese Thematik gelten alternative Kraftstoffe aus biologischem Anbau. Sie bieten einerseits Unabhängigkeit von begrenzten Energieressourcen und reduzieren im Sinne von erneuerbaren Energien die Produktion von Treibhausgasen. Biologische Kraftstoffe haben je nach Beschaffenheit und Aufbereitung spezifische Eigenschaften und können sich auf die Haltbarkeit von konventionellen Tanksystemen negativ auswirken. Damit ist eine Entwicklung zur Verbesserung der Beständigkeit von Kraftstoffsystemen gegen die Auswirkungen biologischer Kraftstoffe erforderlich. Ein anderer Aspekt bei der Verwendung von biologischen Kraftstoffen sind ihre Auswirkungen auf die Emissionseigenschaften von Fahrzeugen.

Diese Arbeit gibt einen Überblick über Auswirkungen auf das Kraftstoffsystem von PKWS im Zusammenhang mit den zwei zuvor genannten Schwerpunkten. Es werden jeweils im ersten Schritt allgemeine Hintergründe und Begrifflichkeiten erklärt, und weiters ein Überblick über aktuelle, sowie zukünftige Anforderungen gegeben. Als Hilfestellung werden technische Lösungsmöglichkeiten und Maßnahmen für Kraftstoffspeichersysteme aufgezeigt um die steigenden Anforderungen zu erfüllen, sowie Auswirkungen auf die Entwicklung von Fahrzeugen behandelt.

2 Verdunstungsemissionen

Bevor auf verschiedene Anforderungen und technische Lösungsmöglichkeiten näher eingegangen wird, sollen vorerst grundlegende Informationen zu Verdunstungsemissionen bereitgestellt werden. Es wird anhand des ersten Kapitels 2.1 Basiswissen über Quellen, Verhalten und Auswirkungen von Verdunstungsemissionen vermittelt, um das Verständnis für allgemeine Zusammenhänge in Kraftstoffversorgungssystemen sowie für nachfolgende Themen dieser Arbeit zu verbessern.

2.1 Allgemeines zu Verdunstungsemissionen in PKW

2.1.1 Arten von Verdunstungsemissionen

Unter Verdunstungsemissionen im Kraftfahrzeugbau versteht man das Verflüchtigen von Kohlenwasserstoffverbindungen aus organischen Materialien, sowie Kraftstoff welcher durch Verdunstung oder Durchdringung von durchlässigen Komponenten das Fahrzeug verlässt. Es handelt sich dabei nicht um die HC-Abgasemissionen, welche bei Betrieb des Verbrennungsmotors über die Abgasanlage ausgestoßen werden.

Verdunstungsemissionen können aus sehr unterschiedlichen Quellen kommen. In der Abbildung 1 sind einige wichtige Quellen von Kohlenwasserstoffemissionen im Fahrzeug beschrieben.

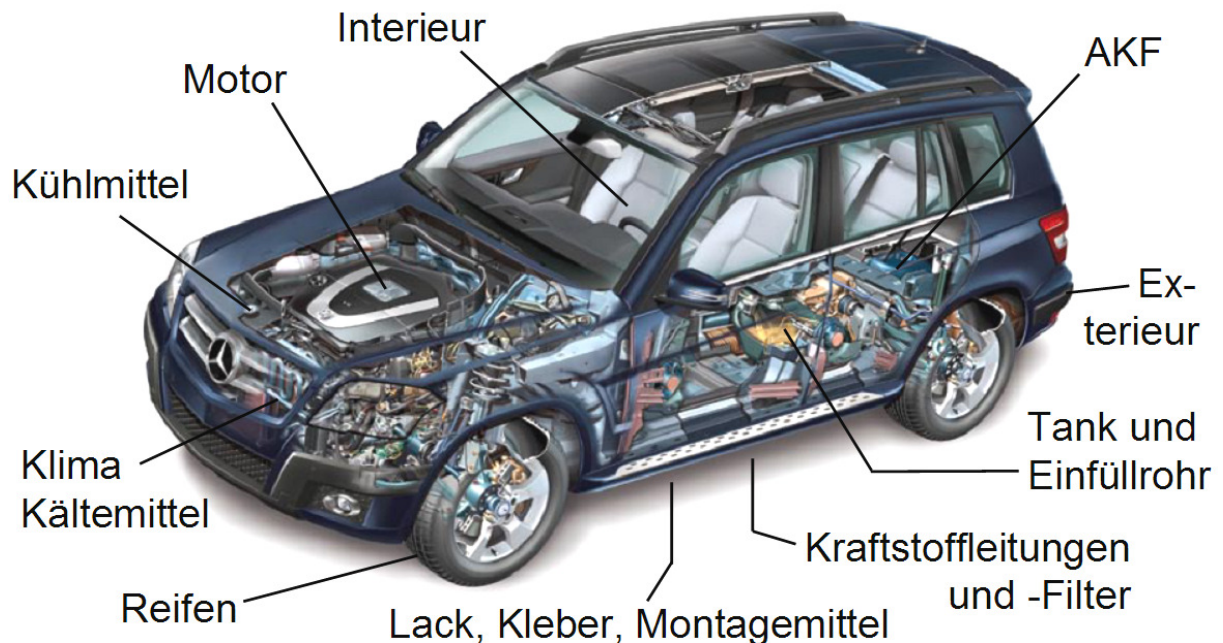


Abbildung 1: Quellen von Verdunstungsemissionen im Fahrzeug [1]

Generell lassen sich die Emissionen in zwei große Gruppen einteilen:

Non-Fuel Emissionen

"Non-Fuel Emissionen" sind Kohlenwasserstoffe, die nicht vom Kraftstoff herrühren. Zu ihnen zählen Emissionen aus Betriebsmitteln wie Kühlflüssigkeit, dem Kältemittel für die Klimaanlage, Ölen und Schmierstoffen, Reinigungsmitteln im Waschwasser, etc.

Alle Kunststoffe sind potentielle Kohlenwasserstoffemittenten. Diese finden sich in Verkleidungen, Kabelummantelungen und im gesamten Fahrzeug-Innenraum, so z.B. in Sitzen, Armaturen und Teppichen, um nur Einige zu nennen. Heutige Fahrzeuge enthalten einen vergleichsweise hohen Anteil an Kunststoffkomponenten.

Des Weiteren zählen alle Materialien aus Gummi, wie z.B. Reifen, Manschetten und Lager dazu. Ebenso gelten Lacke, Klebstoffe, Konservierungsmittel und Schwemmmaterial sowie Montagemittel als Kohlenwasserstoffemittenten.

Fuel-Emissionen

Den zweiten Anteil bilden die so genannten "Fuel-Emissionen", die Emissionen aus verdampfendem Kraftstoff. Sie emittieren aus den Baugruppen des Kraftstoffsystems sowie dem Motor und werden in dieser Diplomarbeit schwerpunktmäßig behandelt.

Für die Berücksichtigung dieser Emissionen im Fahrzeug sind prinzipiell die Varianten mit Benzin-Motorisierung relevant, da Ottokraftstoffe zu starker Ausgasung neigen. Dieselkraftstoff ist aufgrund seiner geringen Verdampfungseigenschaften als unkritisch anzusehen, was in den jeweiligen Fahrzeugauslegungen keine speziellen Maßnahmen hinsichtlich Kraftstoffemissionen erforderlich macht. [2]

Ein grundsätzliches Maß für die Ausgasungseigenschaften eines Kraftstoffs ist der Dampfdruck. Es handelt sich um den Druck, der sich in einem geschlossenen Behälter in Abhängigkeit von Temperatur durch das Verdampfen einer Flüssigkeit einstellt. Je höher der gemessene Dampfdruck ist, desto stärker neigt der jeweilige Kraftstoff zur Ausgasung.

Der Dampfdruck wird nach EN 13016-1 bestimmt. Das in der Vergangenheit verbreitete Verfahren nach Reid wurde wegen der aufwendigen Vorbereitungsarbeiten durch das heute gängige DVPE - Verfahren (Dry Vapor Pressure Evaluation) nach ASTM D6378 Standard ersetzt, welches ohne Probenvorbereitung für die Messung funktioniert. Dampfdrücke von marktüblichem 95 Oktan- Benzin schwanken zwischen 45 und 60 kPa im Sommer, sowie zwischen 60 und 90 kPa im Winter.

Zeitliches Verhalten von Emissionen

Über einen langen Zeitraum betrachtet verändert sich in einem Fahrzeug das Verhältnis zwischen Non-Fuel- und Fuel-Emissionen.

Die Non-Fuel Kohlenwasserstoffemittenten geben innerhalb einer bestimmten Zeit einen Großteil ihrer Emissionsstoffe ab und bleiben danach konstant auf niedrigem Niveau. Fuel-Emissionen verhalten sich umgekehrt, da durch Alterungseinwirkung bei kraftstoffführenden Komponenten die Durchlässigkeit für Kohlenwasserstoffe steigt.

Das Diagramm 1 zeigt das zeitliche Verhalten der beiden Emissionstypen innerhalb der Gesamtemissionsbandbreite.

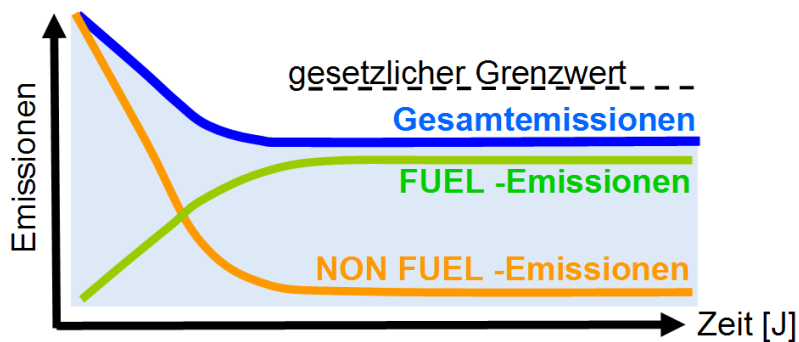


Diagramm 1: Zeitliches Verhalten von Verdunstungsemissionen

Kraftstoffbedingte Verdunstungsemissionen können grundsätzlich auf drei verschiedene Arten aus dem Kraftstoff in die Umgebung gelangen, wie in Abbildung 2 dargestellt.

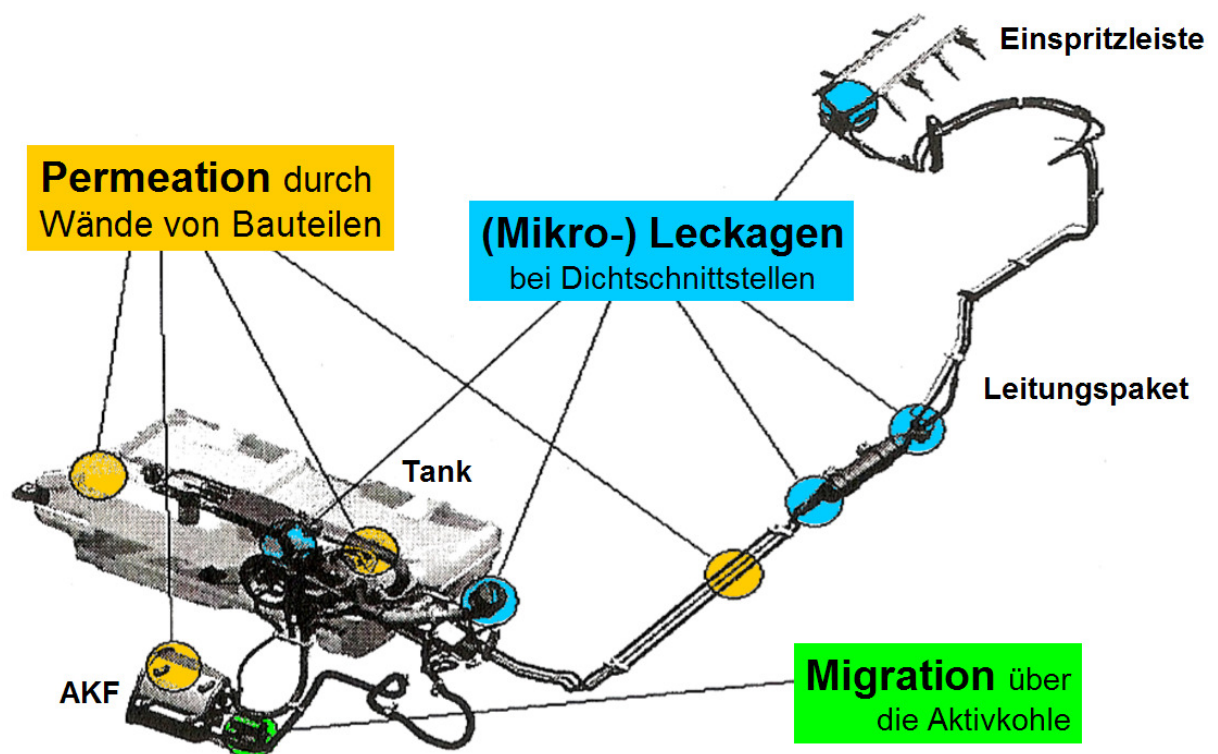


Abbildung 2: Arten von Verdunstungsemissionen [3]

2.1.2 Permeation von Kraftstoffen

Unter Permeation versteht man das Wandern von Füllgutmolekülen durch das Wandmaterial von Komponenten wie z.B. Kraftstoffbehältern oder Leitungen. Wie in Abbildung 3 dargestellt ist, unterteilt man den Vorgang des Transportes durch eine Behälterwand in vier Schritte. Alle Schritte zusammengenommen bezeichnet man als Permeation [4]:

1. Anlagerung des Füllgutmoleküls an die Behälterwand (Adsorption)
2. Aufnahme des Füllgutmoleküls durch die Behälterwand (Sorption)
3. Wanderung durch die Behälterwand (Diffusion)
4. Austritt aus der Behälterwand (Desorption)

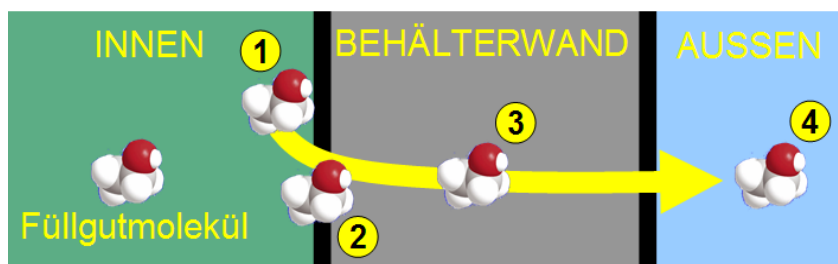


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Permeationsvorganges

Die Intensität der HC-Emissionen aus diesen verschiedenen Quellen hängt von den folgenden Einflussgrößen ab, wobei eine Erhöhung der beschriebenen Parameter stets eine Steigerung der Emissionsrate bewirken:

- Tanktemperatur
- Tankdruck
- Dampfvolumen
- Gleichgewichtsrate zwischen Flüssigkeit und Dampf
- Molekularmasse des Kraftstoffes
- Dichte des Kraftstoffes

Flüssiger Kraftstoff führt durch seine erhöhte Dichte zu einer wesentlich höheren Permeation als dampfförmiger Kraftstoff. Für die Auslegung verschiedener Komponenten der Kraftstoffanlage ist dies zu berücksichtigen, da neben dem flüssigen Kraftstoff auch die Luft im Ausgleichsvolumen des Tanks sowie im Entlüftungssystem mit Kraftstoff angereichert ist.

Als weitere wichtige Einflussgrößen gelten Umgebungsbedingungen, wie Druck und Temperatur. Je höher die Temperatur ist, desto höher sind die Kohlenwasserstoffemissionen. Ebenso wirkt sich der Druck innerhalb kraftstoffführender Bauteile aus. Mit steigendem Druck im Komponenteninneren steigen die Emissionen durch Mikroleckagen und Permeation. [5]

Auch die Eigenschaften des Kraftstoffes können die Emissionseigenschaften beeinflussen. Dabei kann durch die Zusammensetzung des Kraftstoffes, sowie Dampfdruck und Verlauf der Siedekurve die Emissionsrate verändert werden.

Des Weiteren haben die Wandstärke und die Qualität von Materialien einen verminderten Einfluss auf die Permeation.

Permeationsgleichgewicht bei Kunststoffkomponenten

Das Permeationsverhalten von Komponenten verändert sich durch Alterung und den Einfluss von Kraftstoff. Zur Darstellung dieser Eigenschaft ist im Diagramm 2 das praktische Ergebnis einer Permeationsmessung dargestellt. Der Permeationsverlust eines Kunststoff-Kraftstoffbehälters (KKB) wurde wöchentlich durch Wägung ermittelt.

Man erkennt an dem Verlauf der Diagrammkurve, dass bis zur Einstellung des Permeationsgleichgewichts der Permeationsverlust ansteigt. Erst nach Erreichen des Gleichgewichts verliert der KKB pro Zeiteinheit die gleiche Menge Kraftstoff. Der gleichmäßige Verlauf des Permeationsverlustes nach diesem Zeitpunkt bildet annähernd eine Gerade und kann als konstant angenommen werden.

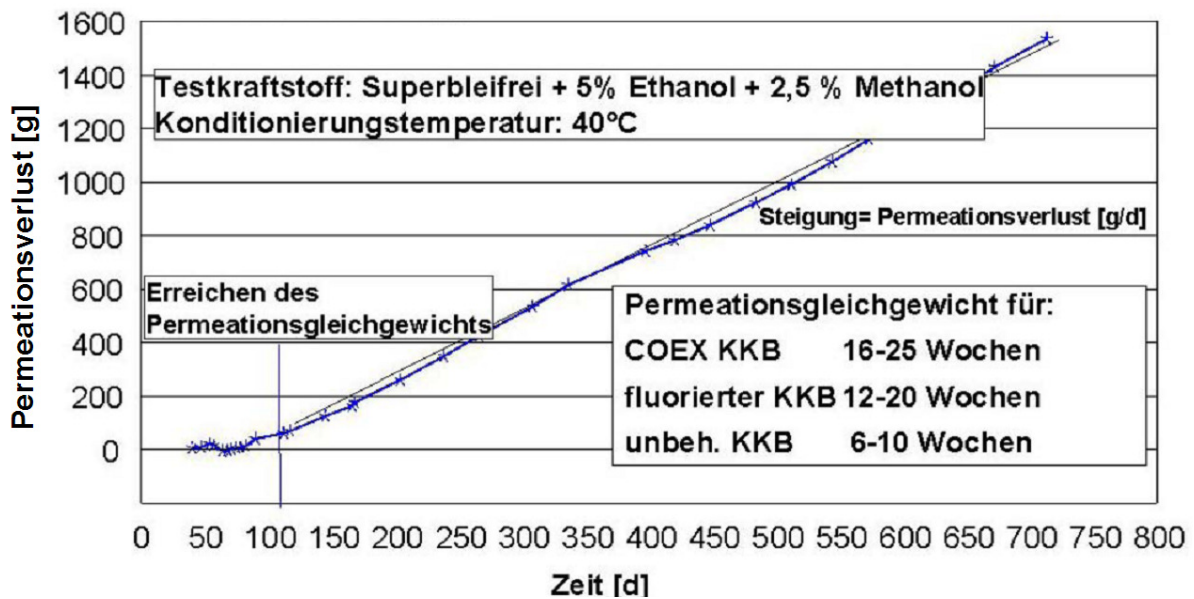


Diagramm 2: Permeationsverlust eines KKB bei 40 °C [6]

Durch die Verwendung verschiedener Materialien kann sich der zeitliche Verlauf der Emissionsrate verändern. So führt beispielsweise die Einbringung von Permeations-sperrschichten in das Behältermaterial zu einer verspäteten Einstellung des Permeationsgleichgewichts.

In der Fahrzeugentwicklung ist dieser Zusammenhang für die Erprobung und Messung des Emissionsverhaltes ausschlaggebend und durch Konditionierung der Bauteile über entsprechend lange Zeiträume zu berücksichtigen.

2.1.3 Auswirkungen von Verdunstungsemissionen

Im Kraftfahrzeugbereich können sich HC-Emissionen auf unterschiedliche Weise auswirken. Die nachfolgende Auflistung zeigt negative Auswirkungen, denen es mit Hilfe von technischen Zielsetzungen entgegenzuwirken gilt.

- Luftverschmutzung durch HC-Anteil in der Luft (SMOG), besonders problematisch wegen der Bildung von bodennahem Ozon in Ballungsräumen
- Geruchsbelästigung
- Kraftstoffverlust (verdunsteter Kraftstoff kann durch Speicherung im Aktivkohlebehälter und anschließendem Zuführen des Verbrennungsmotors wiederverwertet werden)

Vor Einführung der EURO - Vorschriften in Europa im Jahr 1992 waren 20 Gramm Kohlenwasserstoffemissionen pro Tag zulässig. Am Beispiel des österreichischen Bestandes an benzinbetriebenen PKWs im Jahr 1991 (ca. 2,6 Mio. [7]) entsprach dies ca. 70.000 Litern verdunstendem Kraftstoff pro Tag.

Durch die Verringerung des Grenzwertes in den nachfolgenden Vorschriften konnten die Verdunstungsemissionen stark reduziert werden. Unter Berücksichtigung der aktuellen EURO 4 - Vorschrift mit maximal 2 Gramm HC pro Tag und dem PKW-Bestand in Österreich zu Ende des Jahres 2008 (ca. 2 Mio. Benzinfahrzeuge [8]) entsprach der tägliche Kraftstoffverlust durch Verdunstung ca. 5.200 Liter.

2.2 Anforderungen und Vorschriften

Durch den Anstieg an Fahrzeugzulassungszahlen in sämtlichen Märkten gewannen die Auswirkungen von verdunstendem Kraftstoff speziell in großen Ballungsräumen eine starke Bedeutung. Beispielsweise machten im Jahr 1990 die von Permeation bedingten Kraftstoffverluste in Europa etwa 36% der gesamten Kohlenwasserstoffemissionen aus.

Zum Schutz der Umwelt wurden die Verdunstungsemissionen in den frühen 1990er Jahren gesetzlichen Regelungen unterworfen. Anknüpfend an US-amerikanische Regelungen, insbesondere in Kalifornien vorgeschriebene Tests, wurden von der EU-Kommission in der Richtlinie 70/220/EWG [9] Grenzwerte für Verdunstungsemissionen festgelegt.

Durch die Grenzwerte aus neuen Bestimmungen wurde die Größenordnung der zuvor gültigen Forderungen bis auf ein Zehntel reduziert. Es wurden so genannte SHED-Tests eingeführt, um die geringen Mengen an Kohlenwasserstoffen in ausreichender Genauigkeit ermitteln zu können. Zur Erfüllung der verschärften Gesetzgebungen waren für PKW-Kraftstoffsysteme umfassende Verbesserungen hinsichtlich Emissionseigenschaften erforderlich.

Auch die gesetzlichen Vorschriften für Verdunstungsemissionen wurden bis heute schrittweise verschärft. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über Vorschriften, denen die Kraftstoffsysteme aus PKWs in diesem Zusammenhang entsprechen müssen, sowie einen Ausblick auf zukünftige Trends.

Aufteilung der Emissionsanforderungen auf Baugruppen

Der für die Fahrzeughomologation gesetzlich vorgeschriebene Emissionsgrenzwert bezieht sich immer auf das gesamte Fahrzeug. Die Aufteilung der Vorgaben an jeweilige emissionsrelevante Baugruppen ist dem Hersteller überlassen und wird typenspezifisch im Fahrzeuglastenheft definiert.

Es gibt unterschiedliche Strategien, wodurch die Verteilung der Grenzwerte zwischen den verschiedenen Fahrzeugherstellern geringfügig variiert. In jedem Fall ist für Auslegung des Fahrzeuges in Abhängigkeit der gesetzlichen Anforderungen ein Sicherheitsfaktor zu berücksichtigen, um Abweichungen und Streuungen miteinzubeziehen. Für Märkte mit sehr niedrigen Grenzwerten wie beispielsweise bei amerikanischen PZEV-Vorschriften kann der Sicherheitsanteil bis zu 20% erreichen.

In der Abbildung 4 ist anhand eines Beispiels die Verteilung des Gesamtfahrzeugzieles auf verschiedene Fahrzeugbaugruppen und Untergruppen dargestellt. Die Grafik beschreibt ein Beispiel für ein Fahrzeug der amerikanischen LEV II Gesetzgebung.

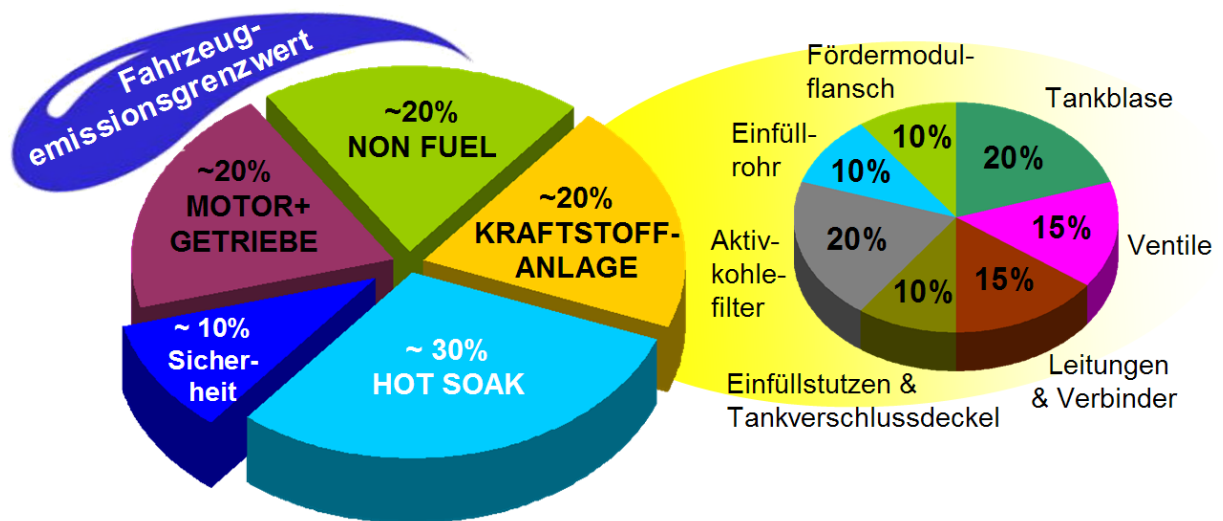


Abbildung 4: Aufteilung von Emissionszielen nach Baugruppen [10]

2.2.1 Vorschriften in Europa

Die gesetzlichen Emissionsvorschriften für Europa werden in Verordnungen des Europäischen Parlaments und des Europäischen Rates definiert. Nachfolgend sind auszugsweise aktuelle Anforderungen zusammengefasst.

Grenzwertstufen und Einsatztermine

- EURO 1 - 01.07.1992 Einführung der EURO Abgasvorschriften durch 91/441/EWG, Reduktion der Verdunstungsemissionen auf 2 g HC/Tag, Einführung des SHED-Test.
- EURO 4 - EURO 4 ist die aktuell gültige Emissionsvorschrift, welche für Fahrzeuge maximal 2 g HC/Tag fordert.
- EURO 5 - 01.09.2009 für neue Fahrzeugtypen
 - 01.01.2011 für alle Fahrzeugerstzulassungen
- EURO 6 - 01.09.2014 für neue Fahrzeugtypen
 - 01.09.2015 für alle Fahrzeugerstzulassungen

Relevante Vorgaben an das Kraftstoffsystem

715/2007/EG Emissionen von leichten PKWS und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6):

- Grenzwert der Verdunstungsemissionen: 2,0 g / 24h für Gesamtfahrzeuge [11]

692/2008/EG (Änderung von 715/2007/EG für EURO 5)

- Der Ethanolanteil des vorgeschriebenen Bezugskraftstoffes (Ottokraftstoff 95 Oktan) ist 4,7 bis 5,3 Vol.-% (Prüfverfahren EN 1601; EN 13132) [12]

EWG/70/220 Abgas

- Mehrstoffbetriebene Fahrzeuge mit Ottokraftstoff E5 und jeweils Flüssiggas, Erdgas/Biomethan oder Ethanol (E85) sind laut Prüfung Typ IV [13] im Ottokraftstoffbetrieb zu überprüfen.

Onboard Diagnose

Für die Onboard Diagnose in Europa (EOBD) ist in Kraftstoffsystemen eine Elektronische Überprüfung des Regenerierventils vorgeschrieben. Das Regenerierventil hat die Aufgabe, durch die Öffnung der mit dem Motorsaugrohr verbundenen Regenerierleitung den Aktivkohlebehälter mit Frischluft zu spülen und seinen kraftstoffhaltigen Gasinhalt mit Hilfe der Spülluft der Motorverbrennung zuzuführen.

Zusammenfassung

Der HC-Emissionsgrenzwert für Gesamtfahrzeuge ist mit 2 g/24h identisch bei aktueller Euro 4 und kommender Euro 5 Grenzwertstufe.

Die Verschärfung liegt in der bei Euro 5 neuen Spezifikation des Testkraftstoffes mit einer Ethanolbeimischung von 5 Vol.-%.

Durch die Zumischung von Ethanol steigen die Emissionen im Kraftstoffsystem an, dieser Zusammenhang ist im Kapitel „3. Biologische Kraftstoffe“ genauer beschrieben.

Ausblick für EURO 6

Bei Euro 6 Grenzwerten für Verdunstungsemissionen ist aus heutiger Sicht keine Veränderung zu Euro 5 bekannt. Der aktuelle Entwurf enthält wie bisher einen HC-Fahrzeuggrenzwert von 2g/24h.

2.2.2 Vorschriften in Nordamerika / USA-Bund und Kanada

Die von EPA (United States Environmental Protection Agency) bis Modelljahr 1999 vollständig eingeführten erweiterten Verdunstungsvorschriften („Enhanced Evap“) bestehen aus folgenden Testsequenzen [14]:

- **Running Loss Test:** Das Fahrzeug wird im SHED über einen UDDS-Zyklus, zwei NYCCs und einen UDDS-Zyklus gefahren. Dabei werden die HC-Emissionen gemessen, die aus dem Fahrzeug (ausgenommen Verbrennungsabgase) emittiert werden. Der Test wird bei einer Temperatur von 95°F (entspricht 35°C) durchgeführt.
- **Hot Soak Test:** Einstündiger Heißabstelltest. Gemessen werden die HC-Emissionen eines soeben gefahrenen Fahrzeuges, das bei 95°F (35°C) im SHED abgestellt wird.
- **3-Day Diurnal Test:** Dreitägiger Aufheiztest. Das Fahrzeug wird im SHED drei 24-stündigen Aufheiz-/Abkühlzyklen von 72-96-72°F (22,2°C – 35,6°C – 22,2°C) unterworfen. Dabei werden die HC-Emissionen gemessen, die aus dem Fahrzeug emittiert werden und der höchste 24-Stunden-Wert herangezogen.
- **2-Day Diurnal Test:** Zweitägiger Aufheiztest. Zwei 24-stündige Aufheiz-/Abkühlzyklen von 72-96-72°F (22,2°C – 35,6°C – 22,2°C) mit gegenüber dem Dreitagestest unterschiedlicher Vorkonditionierung; der höhere Wert wird herangezogen.

Im Rahmen der aktuell gültigen Tier II - Vorschriften hat EPA eine weitere Verschärfung der Verdunstungsemissionen beschlossen. Die Grenzwerte sind in der Tabelle 1 gelistet.

3-Day Diurnal Test plus Hot Soak Test	2-Day Diurnal Test plus Hot Soak Test	Running Loss Test
Grenzwerte für PKW und LLDTs		
0,95 g HC/Test	1,2 g HC/Test	0,05 g HC/Meile

Die Grenzwerte müssen über 120 000 Meilen eingehalten werden. Sie werden mit folgenden Quoten eingeführt:
Modelljahr 2004/2005/2006/ab 2007: 25/50/75/100%.

Tabelle 1: Grenzwerte für EPA SHED Tests [15]

Weitere Forderungen EPA

Betankungstest ORVR (On-Board Refueling Vapor Recovery): Durch die Vorschrift wird erreicht, dass beim Betanken die aus dem Tank verdrängten Kraftstoffdämpfe im Fahrzeug aufgefangen werden (Diese Vorschrift verschärft die Anforderungen an den Aktivkohlebehälter in US Systemen, da beispielsweise in europäischen Systemen zwar die ausgasenden Kraftstoffdämpfe des Fahrzeugbetriebs oder –stillstands aufgenommen werden, nicht jedoch jene der Betankung). Nach der Vorkonditionierung wird mit einer Füllrate von 4 bis 10 Gallonen (ca. 15,1 bis 37,8 Liter) pro Minute getankt, bis der Tank zu mind. 95% gefüllt ist. Der Grenzwert für die Betankungsemissionen beträgt 0,20g HC / Gallone (ca. 0,053 g HC / Liter) getankten Kraftstoffes. Er gilt im USA Bund und Kalifornien für alle Fahrzeuge bis zu 8500 lbs (ca. 3860 Kg) zulässigem Gesamtgewicht, in USA Bund auch für MDPVs bis zu 10000lbs (ca. 4535 KG). Bei Dieselfahrzeugen kann der Test auf Antrag bei der Behörde entfallen, wenn der Hersteller erklärt, dass der Grenzwert auch ohne ORVR-System eingehalten wird. Voraussetzung dafür ist, dass die Kraftstofftemperatur im Tank nicht über 54 °C liegt. [16]

Der Grenzwert wurde für PKWs (LDVs) und LLDTs ab dem Jahr 2003 zu 100% eingeführt. Die folgende Abbildung 5 zeigt die Funktionsweise einer ORVR-Betankung.

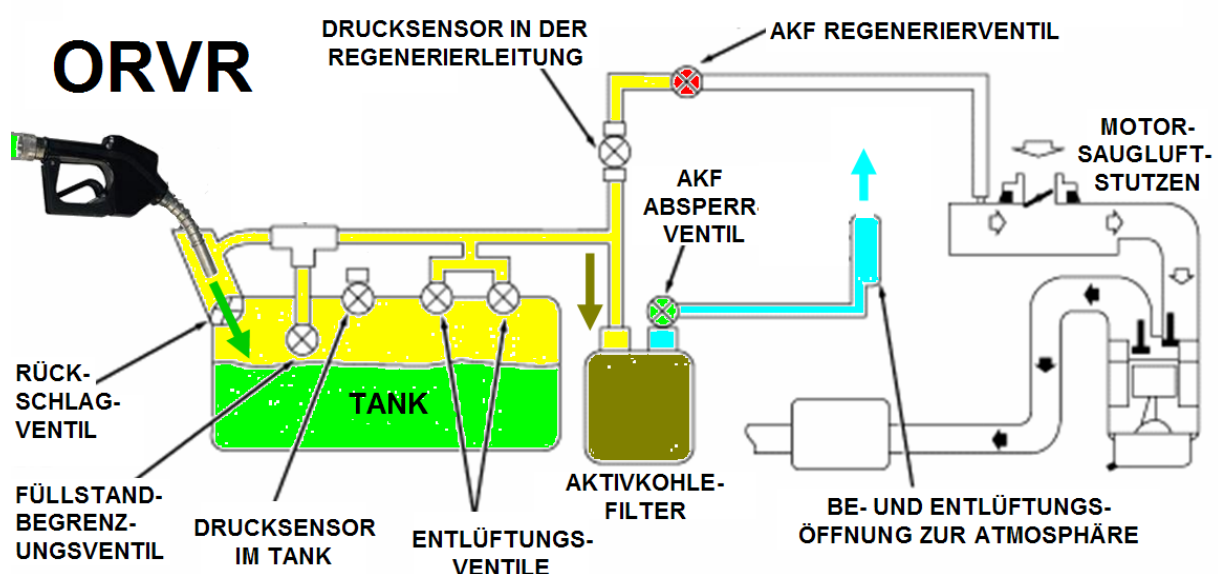


Abbildung 5: Schematische Darstellung einer ORVR-Betankung

Betankung Spitback-Test: Beim Betanken von Benzin- und Methanolfahrzeugen darf höchstens 1 Gramm HC / Test (Kalifornien: 1ml Flüssigkeit) aus dem Tank entweichen. Fahrzeuge, die die ORVR Vorschriften erfüllen, sind vom Spitback-Test befreit.

On-Board Diagnose (OBD): Die gesetzlichen OBD Anforderungen des US Bund verlangen die Überwachung von emissionsrelevanten Bauteilen und Systemen im Fahrzeug. Dabei ist eine Leckdiagnose für das Kraftstoffsystem vorgeschrieben, in der Leckagen aus Öffnungen mit der äquivalenten Größe einer Bohrung von mind. 1 mm Durchmesser erkannt werden müssen. Zur Messung wird das System mit Ventilen verschlossen und mit Unterdruck oder Überdruck beaufschlagt. Ein Drucksensor (optional zwei Sensoren) überwacht die Druckveränderung im System über einen bestimmten Zeitraum und kann dadurch auf Leckagen rückschließen. Erkannte Fehlfunktionen werden in einen Fehlerspeicher eingetragen, dem Fahrer durch eine Warnlampe (MIL) zur Anzeige gebracht und können über eine genormte Schnittstelle mit einem externen Diagnosetool ausgelesen werden. [17]

In der Abbildung 6 wird schematisch ein Kraftstoffsystem während einer OBD – Tankleckdiagnosemessung dargestellt:

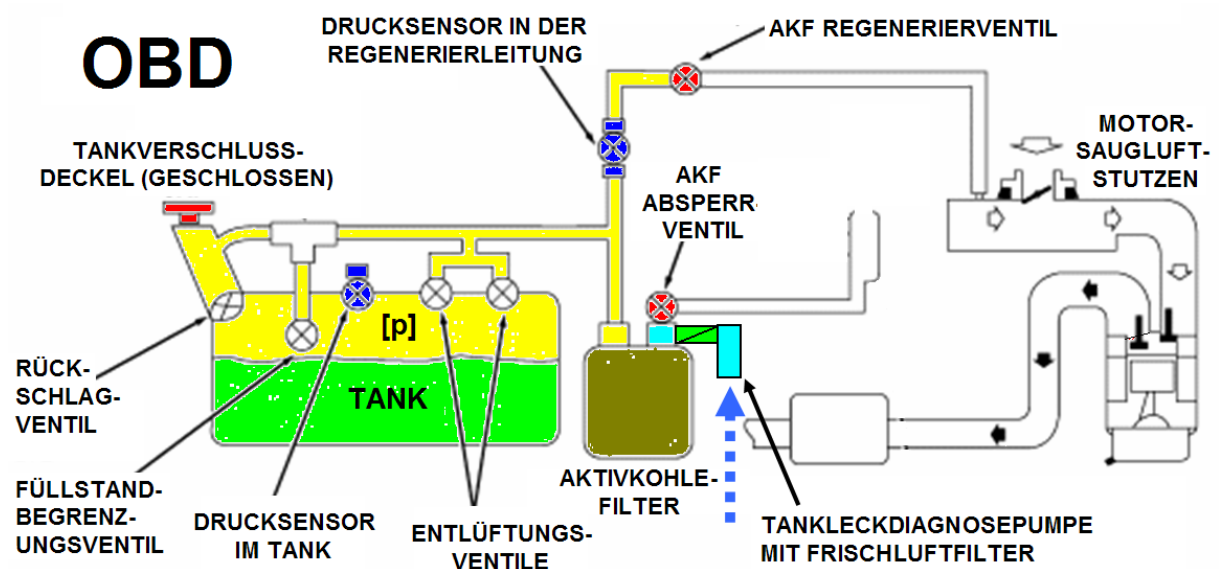


Abbildung 6: Schematische Darstellung einer Tankleckdiagnosemessung

Die EPA-Forderungen sind teilweise an die kalifornische OBD II -Vorschriften angeglichen. EPA erkennt auch OBD II - zertifizierte Systeme in den USA bundesweit an.

Geltung der USA Bundesvorschriften in Kanada

In Kanada wurden ab 2004 Vorschriften eingeführt, die den Tier II-Vorschriften für USA Bund entsprechen. Damit können in ganz Kanada Fahrzeuge zugelassen werden, die gemäß den Vorschriften des USA Bundes zertifiziert sind.

2.2.3 Vorschriften in Nordamerika / Bundesstaat Kalifornien

Die Testanforderungen im US-Bundesstaat Kalifornien (CARB - Californian Air Resources Board) entsprechen den Bundesvorschriften (EPA). Allerdings schreibt Kalifornien eigene, strengere Grenzwerte vor.

LEV (Low Emission Vehicle) –Gesetzgebung [18]:

Zur Übersicht werden vorerst die bisherigen LEV–Vorschriften in Reihenfolge ihrer Einsatztermine gelistet:

- | | |
|--------|---|
| LEV I | Low Emission Vehicle I, wurde 1990 beschlossen und bis 2003 zu 100% umgesetzt. <ul style="list-style-type: none">- Beinhaltet folgende Emissionsklassen für PKWs/LDT1:
TLEV, LEV, ULEV, ZEV- Senkung des Flottenmittelwertes für NMOG bis Modelljahr 2003 |
| LEV II | Low Emission Vehicle II, wurde 1998 beschlossen, Verschärfung der HC Grenzwerte seit 2004, wird bis 2010 zu 100% umgesetzt sein <ul style="list-style-type: none">- Beinhaltet folgende Emissionsklassen:
LEV, ULEV, SULEV, ZEV (PZEV)- Senkung des NMOG-Flottenmittelwertes bis Modelljahr 2010 |

Zurzeit sind LEV II – Vorschriften gültig. Sie lösten die seit 1994 geltenden LEV I – Vorschriften gestaffelt zwischen den Jahren 2004 und 2007 ab. Durch das nachfolgende LEV II - Programm wurden strengere Abgasvorschriften eingeführt: Der NMOG-Flottenmittelwert wird bis Modelljahr 2010 kontinuierlich abgesenkt und die Dauerhaltbarkeitsanforderung wurde auf 150.000 Meilen ausgedehnt. PKWS und leichte Nutzfahrzeuge müssen dieselben Anforderungen erfüllen, die Grenzwerte sind in der Tabelle 2 gelistet (Werte in [g HC / Test]) [19]:

	3-Day Diurnal + Hot Soak	2-Day Diurnal + Hot Soak
PKW	0,50	0,65
LDT < 6000 lbs GVW	0,65	0,85
LDT 6001–8500 lbs GVW	0,90	1,15
MDV 8501–14 000 lbs GVW	1,00	1,25

Tabelle 2: Emissionsgrenzwerte der LEV II -Vorschriften in [g HC/Test]

Der Running Loss - Grenzwert bleibt unverändert bei 0,05 g HC/Meile, muss aber ebenfalls über 150.000 Meilen eingehalten werden.

Das ZEV (Zero Emission Vehicle) - Mandat

Jeder Hersteller muss eine bestimmte Quote seiner in Kalifornien verkaufter Fahrzeuge als so genannte „Null Emissions- Fahrzeuge“ anbieten. Er muss eine Gewährleistung für alle emissionsrelevanten Bauteile dieser Fahrzeuge über 15 Jahre oder 150.000 Meilen gewähren. Die Erfüllung dieser Anforderungen wird mit Feldversuchen (sog. In-Use Tests) anhand von stichprobenartigen Überprüfungen von Kundenfahrzeugen ermittelt.

ZEVs (Zero Emission Vehicles) sind definiert als Fahrzeuge, die keinerlei Abgasemissionen aufweisen können, d.h. Batterieelektro- und wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge. Es ist lediglich eine Zusatzheizung zulässig, sofern diese nur unter 4°C arbeitet, Verdunstungsemissionen sind nicht erlaubt.

Seit dem Jahr 2005 musste eine ZEV-Quote von 10% eingehalten werden, welche zwischen den Jahren 2009 und 2016 schrittweise auf 16% erhöht wird.

Es sind dabei PKWs, LDT1 und LDT2 betroffen, MDVs müssen keine ZEV-Quote erfüllen,

können aber einen Beitrag zu der Erfüllung des ZEV-Mandates leisten.

Bei Nichterfüllung der ZEV-Zielquoten drohen dem Hersteller u.a. Strafzahlungen von bis zu 25.000 \$ pro fehlendem ZEV.

PZEVs (Partial Zero Emission Vehicles) unterliegen der Grundvoraussetzung, die SULEV-Grenzwerte sowie die so genannten Null-Verdunstungs-Vorschriften („Zero-EVAP“) und die OBD-Anforderungen über 150.000 Meilen einzuhalten.

Die in Tabelle 3 gelisteten, gesamtfahrzeugrelevanten Grenzwerte [g HC/Test] gelten für diese Fahrzeuge:

	3-Day Diurnal + Hot Soak	Supplemental 2-Day Diurnal + Hot Soak
PKW	0,35	0,35
LDT < 6000 lbs GVW	0,50	0,50
LDT 6001–8500 lbs GVW	0,75	0,75

Tabelle 3: Emissionsgrenzwerte der PZEV-Vorschriften in [g HC/Test]

Für das Kraftstoffsystem selbst ist bei PZEVs nachzuweisen, dass keine kraftstoffbezogenen Verdunstungsemissionen auftreten [20]. Um bei der Forderung nach 0 g HC/Test die messtechnische Möglichkeiten abzudecken (Einschränkungen durch Messunschärfe und Hintergrundemissionen), räumt CARB hier eine Obergrenze von **54 mg HC/Test** ein.

Um einen praktischen Bezug zu der geforderten Kraftstoffmenge zu geben, ist in der Abbildung 7 ein Größenvergleich zwischen einem Kraftstofftropfen mit ca. 40 mg und einem Streichholz dargestellt.

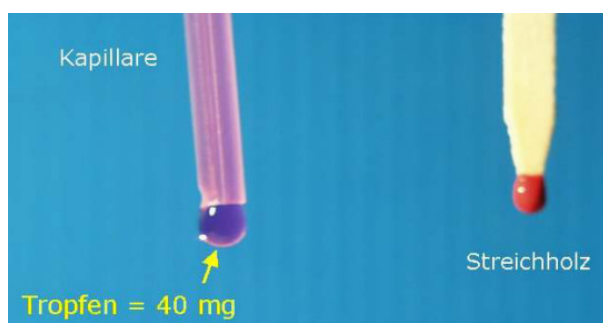


Abbildung 7: Veranschaulichung von Kraftstoffmasse

ZEV – Quotensystem

Bei der Quotendefinition von ZEV wird an Hand der verkauften Jahresstückzahlen eines Fahrzeugherstellers ein Stufensystem mit Standard-Kategorien eingesetzt. Auf diese Weise räumt CARB den Fahrzeugherstellern ein, die jeweils geforderte ZEV Stückzahl mit PZEV Fahrzeugen anteilsweise oder komplett zu substituieren. Dabei muss eine entsprechend höhere Anzahl an PZEV Fahrzeugen verkauft werden um die Quote für ZEV-Stückzahlen zu erreichen.

Es werden weiters Begünstigungen in Form von Gutschriften und Krediten zugestanden, die in Abhängigkeit zu technologischem Stand, Fahrzeugreichweite und der frühen Markteinführung der Modelle stehen.

Folgend sind die drei Standard-Stufen gelistet, in denen jeweils Fahrzeugklassen unterschiedlicher Emissionsanforderungen vorausgesetzt werden:

Gold Standard - ZEVs (Zero Emission Vehicles). Der Gold Standard betrifft nur reine ZEVs. Fahrzeuge mit Benzinkraftstoffsystemen sind davon nicht betroffen.

Silber Standard - (AT-)PZEVs (Advanced Technology-PZEVs). Es handelt sich dabei um PZEV, welche zusätzlich bestimmte fortschrittliche Technologiemerkmale aufweisen (z.B. Hybridfahrzeuge, Gasfahrzeuge, H₂-Verbrennungsfahrzeuge) und deshalb mehr als die Basisgutschrift von PZEV erhalten. (AT-)PZEVs dürfen die Hälfte der ZEV-Quote abdecken und können je nach Reichweite Gutschriften erhalten, sowie Mehrfachkredite durch frühere Einführung dieser Fahrzeuge.

Bronze Standard – PZEVs (Partial Zero Emission Vehicles). Für den Verkauf von PZEVs werden Basisgutschriften erteilt.

- Große Hersteller, mit über 60.000 Stk. von in Kalifornien pro Modelljahr verkaufte LDVs und MDVs, dürfen 6% der ZEV Quote mit PZEV-Fahrzeugen abdecken
- Mittlere Hersteller, mit weniger als 60.000 Stk. der oben genannten Fahrzeugen, dürfen die gesamte ZEV-Quote mit PZEV-Fahrzeugen abdecken
- Kleine Hersteller, mit bis 4.500 Stk. der oben genannten Fahrzeuge, sind von der ZEV-Regelung nicht betroffen

In der Tabelle 4 ist die zeitliche Staffelung der ZEV-Quoten ab dem Jahr 2009 für Große Hersteller dargestellt [21]:

Modelljahr	Basiszeitraum (Modelljahre)	Geforderte Gesamtquote		Mindestanforderungen		Max. Substitution durch PZEVs (Bronze-Standard) ²⁾
				ZEVs (Gold-Standard) ²⁾	Advanced Technology PZEVs (Silber-Standard) ²⁾	
2009	2003 – 2005	11 %	5,1 %	2,5 %	2,5 %	6 %
2010	2003 – 2005	11 %	6,8 %	2,5 %	2,5 %	6 %
2011	2003 – 2005	11 %	8,5 %	2,5 %	2,5 %	6 %
2012 – 2014	2006 – 2008	12 %	12 %	3 %	3 %	6 %
2015 – 2017	2009 – 2011	14 %	14 %	4 %	4 %	6 %
ab MJ 2018	1)	16 %	16 %	5 %	5 %	6 %

Tabelle 4: ZEV-Quotensystem für große Hersteller

OBDII - Vorschriften

In der kalifornischen Gesetzgebung gelten OBDII-Vorschriften. Dabei ist die kleinste detektierbare Leckgröße im Unterschied zu den OBD-Bundesvorschriften der EPA auf 0,5mm reduziert.

Weiters fordert CARB für die Tankleckdiagnose eine Mindestablaufhäufigkeit der Messungen (RBM - Rated Based Monitoring). Dabei wird ein Verhältnis aus korrekt abgelaufenen Diagnosen in denen ein Fehler erkannt worden wäre und allen Fahrten in denen eine Tankleckdiagnose möglich war gebildet. Das Ergebnis zeigt, ob die Tankleckdiagnose in einem Fahrzeug ausreichend wirksam ist.

Der von CARB geforderte Wert für die Mindestablaufhäufigkeit der Tankleckdiagnose beträgt 0,26. [22]

2.2.4 Vorschriften in den restlichen Weltmärkten

Emissionsvorschriften anderer weltweiter Märkte leiten sich meist aus den in Europa und Nordamerika vorgeschriebenen Gesetzeslagen ab, oder werden von diesen abgedeckt.

Es werden dabei entweder Grenzwerte und Testprozeduren übernommen, oder spezielle technische Einrichtungen (wie z.B. ORVR - oder Tankleckdiagnosesysteme) gefordert.

Sie liegen nicht über den Anforderungen der bereits genannten Märkten von Europa und Nordamerika.

2.3 Technische Maßnahmen zur Einhaltung steigender Emissionsanforderungen

In den folgenden Kapiteln wird ein Überblick über den aktuellen technischen Stand sowie innovative Lösungen bei Kraftstoffsystemen gegeben, welche durch ihre Merkmale und Eigenschaften eine Reduktion von HC-Emissionen bewirken. Es werden Verfahrenstechniken und konstruktive Auslegungen behandelt. Das Ziel soll sein, durch die gegebenen Informationen ein ausreichendes Wissen über das Thema zu vermitteln, um in der Praxis verschiedene Varianten im Vorfeld gegenüberzustellen, oder bestehende Konzepte in geeigneter Weise beleuchten und bewerten zu können.

Die Tankblase ist die größte und zugleich wichtigste permeationsrelevante Komponente in einem Kraftstoffsystem. Sie bietet die größte Bauteiloberfläche und beinhaltet die meisten Schnittstellen zu kraftstoffführenden Teilen. Da hier das größte Potenzial für Verbesserungen des Permeationsverhaltens zu erwarten ist, bilden die Herstellungsverfahren und Ausführungen bei Kraftstoffbehältern den Schwerpunkt in diesem Kapitel. Es werden vorerst konventionelle, bereits langjährig eingesetzte Technologien beschrieben und dann schrittweise in Reihenfolge des technologischen Standes weiterentwickelte Systeme behandelt.

Als weitere maßgebliche Komponente für die Reduktion von HC-Emissionen aus dem Kraftstoffsystem wird der Aktivkohlefilter zur Absorbierung von kraftstoffhaltigen Entlüftungsgasen beleuchtet. In weiterer Folge gilt das Augenmerk Kraftstoffleitungssystemen und ihren Auslegungen sowie Kupplungs- und Dichtschnittstellen im Kraftstoffsystem.

Zuletzt wird zusammenfassend aus dem großen Spektrum an Informationen ein Überblick gegeben und wesentliche Zusammenhänge erläutert. Dadurch soll eine Hilfestellung für die Handhabung und der Wahl zwischen verschiedenen Lösungen unter Berücksichtigung von praktischen Einflüssen und Tendenzen aus der zukünftigen Entwicklung des Fahrzeugmarktes gegeben werden.

2.3.1 Kraftstoffbehälter aus Kunststoff

Kunststofftanks sind aktueller Stand der Technik und gewinnen als Alternative zu Metalltankvarianten zunehmend an Bedeutung für den Fahrzeugmarkt. Sie sind hinsichtlich der Kosten im Vorteil zu Metallbehältern und haben sich durch Weiterentwicklung der Herstellungstechniken und Konstruktionen in den letzten Jahren an den technischen Level von Metalltanks angenähert.

Als Grundmaterial für Kunststofftanks hat sich neben manchen Anwendungen aus PA (Polyamid), hauptsächlich HDPE (Polyethylen mit hoher Dichte) etabliert und wird in nahezu allen aktuellen Varianten angewendet.

2.3.1.1 Fluorierung von Blasformtanks

Bei Blasformtanks aus HDPE in Monolayer-Ausführung, bei der die gesamte Behälterwand aus einem einzigen Material besteht, stellt die Fluorierung seit vielen Jahren den Stand der Technik für die Verbesserung der Permeationssperrwirkung dar. Dabei gibt es unterschiedliche Verfahren, nach denen die Fluorierung durchgeführt wird. Vereinfacht beschrieben handelt es sich bei der Fluorierung um die Beaufschlagung der KKB-Behälterwand, vorzugsweise innen, mit einem fluorhaltigen Gas. Durch die Reaktionsfreudigkeit des Fluors mit dem HDPE erfolgt eine Substitution von Wasserstoffatomen aus der Polyethylenkette durch Fluoratome.

Dies erfolgt nach mehr oder weniger statistischen Regeln. So ist es möglich, an der Polyethylenoberfläche sowohl $-CHF-$, $-CF_2-$, als auch $-CF_3$ Bindungen zu erhalten. Letztere sind allerdings unerwünscht, da sich $-CF_3$ Endgruppen immer dann bilden, wenn durch ungünstige Fluorierbedingungen Polyethylenketten gespalten werden.

Der Effekt der Sperrwirkung beruht hauptsächlich darauf, dass die ehemals hydrophobe Grenzfläche zwischen Polyethylen und dem Kraftstoff durch die Fluorierung in eine hydrophile Grenzfläche umgewandelt wird. Da der Kraftstoff ebenfalls hydrophob ist, erfolgt eine Sperrwirkung durch Verhinderung der Sorption und Adsorption.

Bei der Verwendung von alkoholhaltigen Kraftstoffen gibt es im Kraftstoff auch polare Bestandteile, so dass mit einer herkömmlichen Fluorierung ungünstigere Sperrwirkungen erzielt werden. Praktische Anwendungen zeigen, dass durch Abrieb an Kontaktstellen zu anderen Komponenten (Einbauteile, Fördermodul, Leitungen, etc.) bei fluorierten Tanks

Beschädigungen der Sperrschicht auftreten können. Auf lange Sicht verlieren fluorierte Kraftstoffbehälter demnach an Permeationssperrwirkung. Die Fluorierverfahren lassen sich grundsätzlich in zwei unterschiedliche Verfahren unterteilen:

In-Line Fluorierung

Bei dem In-Line Prozess wird das Fluoriergas noch während sich der Behälter im Werkzeug in der Maschine befindet, in den frisch geformten Behälter eingeleitet. Dies erfordert einen hohen und sicherheitstechnisch umfassenden Prozessaufwand, der von den so produzierenden Firmen sicher beherrscht werden muss. Vorteil dieses Verfahrens ist es, dass der KKB fertig behandelt aus der Maschine kommt. Die Sperrschicht befindet sich im Inneren des KKB, wo sie die größte Wirkung besitzt.

Bei der In-line Fluorierung gibt es verschiedene Varianten. Bei der Oxyfluorierung wird dem Fluor/Stickstoffgemisch Sauerstoff zugemischt. Bei der Cryofluorierung wird das Behandlungsgas tiefkalt in den Behälter eingeführt. Die Oxyfluorierung hat den Nachteil, dass ihre Sperrwirkung bei alkoholhaltigen Kraftstoffen stark nachlässt.

Off-Line Fluorierung

Bei der Off-line Fluorierung werden die fertigen KKB batchweise in einen Autoklaven gebracht. Unter Vakuumbedingungen wird Fluorgas in den Behälter eingeleitet. Bei entsprechender Fluorkonzentration und einer Behandlungsweise von min. 1/2 Stunde werden dann die Behälter dem Fluorgas ausgesetzt, daraufhin baut sich die Sperrschicht auf.

Nachteile des Off-line Fluorierverfahrens ist die batchweise Produktion mit erhöhtem Handlingsaufwand der KKB sowie die Gefahr, dass es bei längerer Einwirkung von Temperaturen über 50 °C zu Maßabweichungen der KKB kommen kann.[23]

Vorteile der Fluorierung von KKBs:

- verbesserte Permeationseigenschaften unter Beibehaltung des konventionellen Monolayer Blasformverfahrens
- In-Line Fluorieren ist im Vergleich zur Off-Line Variante durch geringeren Handlingaufwand kostengünstiger

Nachteile der Fluorierung von KKBs:

- Keine ausreichenden Emissionswerte für LEV II Vorschrift, oder höhere Anforderungen
- Sperrwirkungsverlust bei langfristiger Verwendung
- Sperrwirkungsverlust durch Abrieb bei Kontaktstellen zu Tankeinbauteilen
- Beschleunigter Sperrwirkungsverlust durch alkoholhaltige Kraftstoffe

2.3.1.2 Selar RB–Verfahren bei Blasformtanks

Das bei diesem Herstellungsprozess spezifisch verwendete Material, mit der Bezeichnung Selar RB-901, besteht aus einer Mischung aus PA6 mit Haftvermittler. Bei der Tankherstellung durch Blasformen werden dem HDPE-Gieß 6 - 8% Selar zugegeben. Im Extruder schmelzen zuerst das PE und der Haftvermittler bei 140°C, dann das PA6 bei 224°C. Da PA6 und PE nicht miteinander mischbar sind, entsteht ein Gemisch aus zwei Phasen. Durch eine spezielle Schneckengestaltung bildet das PA 6 extrem dünne Plättchen, die parallel zur Behälterwand liegen, siehe Abbildung 8. Da sehr viele Plättchen in der Wand vorliegen, ergibt sich ein Labyrinth, das die Permeationswege deutlich verlängert und dadurch HC-Emissionen verringert. Am europäischen Markt hat dieses Verfahren inzwischen an Wichtigkeit verloren, es wird jedoch aktuell noch am asiatischen Fahrzeugmarkt eingesetzt.

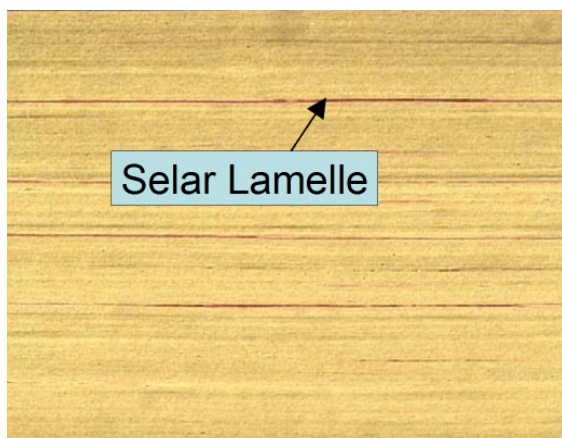


Abbildung 8: Selar Laminatstruktur [24]

Vorteile des Selar RB Verfahrens

- Geringer Kostenaufwand
- Standardanlagen für Monolayer-Blasformtanks können verwendet werden

Nachteile des Selar RB Verfahrens

- Sperrwirkungsverlust durch alkoholhaltige Kraftstoffe
- Inzwischen veraltetes Verfahren am europäischen PKW Sektor

2.3.1.3 Blasformverfahren mit Multilayer Material / Coextrusion

Bei der Herstellung von Coextrusionsmaterial werden in einem einzigen Arbeitsgang mehrere Schichten für die Verarbeitung zu Blasformteilen bereitgestellt (Multilayer-Material). Grundsätzlich hat sich beim Coextrusionsblasformen der 3- oder 6-Schichtaufbau etabliert. Serienmäßig werden heute im COEX-Verfahren KKBs mit bis zu 7 Schichten hergestellt.

Die in der Mitte befindliche Emissionssperrschicht, derzeit entweder aus Polyamid oder EVOH, beidseitig mit einem Haftvermittler versehen, wird von den außen liegenden PE-Schichten eingeschlossen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Sperrschicht und auch die Haftvermittlerschichten so dünn als möglich ausgeführt werden, um die mechanischen Eigenschaften des HDPE in der Behälterwand nicht zu beeinträchtigen. Recyclingmaterial (Regrind) kann in einer zusätzlichen Schicht eingearbeitet werden. Die Materialbereitstellung für diese Schicht wird meistens bereits durch Verarbeitung der anfallenden Butzenanteile (Abschnittreste an den Quetschkanten) und Ausschussteile vollständig abgedeckt. Zusätzliches Recyclat aus einer stofflichen Wiederverwertung ist somit nicht mehr erforderlich.

Da EVOH feuchtempfindlich ist, liegt bei einem COEX KKB die Barrierschicht nicht offen zum Tankinneren. Die EVOH Schicht wird von einer HDPE Schicht geschützt. HDPE ist ein gutes Barrierematerial gegenüber polaren Chemikalien. [25]

Die Abbildung 9 beschreibt den schematischen Aufbau eines 6-schichtigen Tankmaterials mit Schichtdickenanteil anhand eines Beispiels:

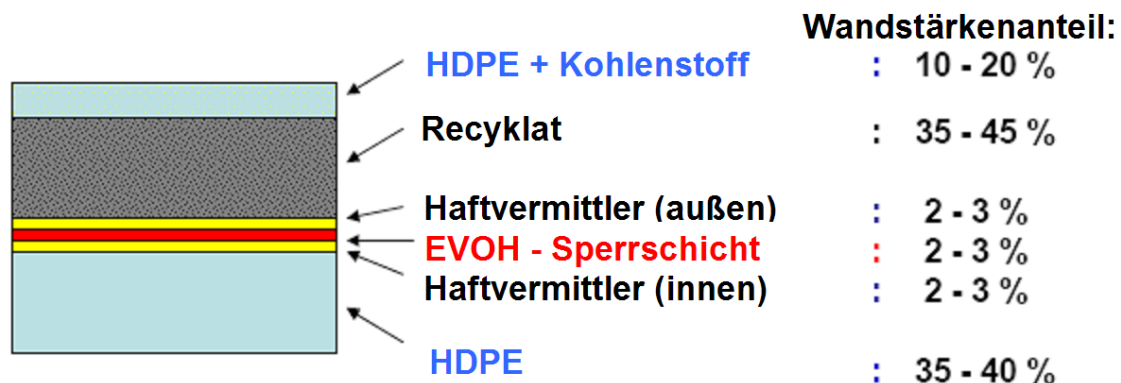


Abbildung 9: Schematischer Aufbau von 6-Schichtmaterial [26]

Verfahrenstechnisch hat sich bei der Coextrusion die kontinuierliche Extrusion durchgesetzt. So lässt sich eine gleichmäßige und vor allem dünne Verteilung der Haftvermittler- und Sperrschichten erzielen. Bei dieser Lösung gibt es je nach firmenspezifischen Verfahren unterschiedliche, durch Patente abgesicherte Varianten, die alle das gleiche Ziel verfolgen.

Probleme bei diesem Verfahren, wie sie anfänglich in den mechanischen Eigenschaften bei stoßartiger Belastung und tiefer Temperatur erwartet wurden, haben sich bisher nicht bestätigt. Auch Langzeiteffekte, die sich durch Quellung der Innenschicht aus HDPE in Kombination mit dem unterschiedlichen Ausdehnungsverhalten der verwendeten Sperrschicht ergeben können, konnten bisher nicht beobachtet werden.

Die heute verwendeten Verfahren erzeugen homogene und dünne Schichtverteilungen.

Quetschnaht

An blasgeformten KKBs ergibt sich eine entlang der Werkzeugteilung verlaufende Naht an der das schlauchförmige Extrusionsmaterial im Herstellungsprozess abgequetscht wird. Um die sensible Sperrschicht im Material an diesen Stellen nicht zu verletzen und eine Unterbrechung der Emissionssperrschicht entlang der Quetschung zu vermeiden, bedarf es einer speziellen Ausformung, einer so genannten Quetschnaht. Dabei wird entlang der Randbereiche in den Werkzeugen eine Nut vorgesehen. Die Negativform an der Tankblase ist ein verlaufendes Profil, je nach Ausführung spitz oder abgerundet. Hierbei formt sich das gequetschte COEX-Material entlang der Nuten im Werkzeug. Die

Sperrschicht mündet tangential in der Spitze der Quetschnaht und bildet einen keilartigen Verlauf. Durch diese Bauform wird den HC Molekülen in Normalrichtung zur Behälterwand zunächst nur ein relativ kleines Austrittsfenster geboten und in weiterer Folge durch die Keilform die größtmögliche Fläche der Emissionssperrschicht entgegengesetzt.

Der mikroskopische Dünnschnitt einer KKB-Quetschnaht in der Abbildung 10 zeigt die Keilform des Materials und die Sperrschicht (in roter Farbe).

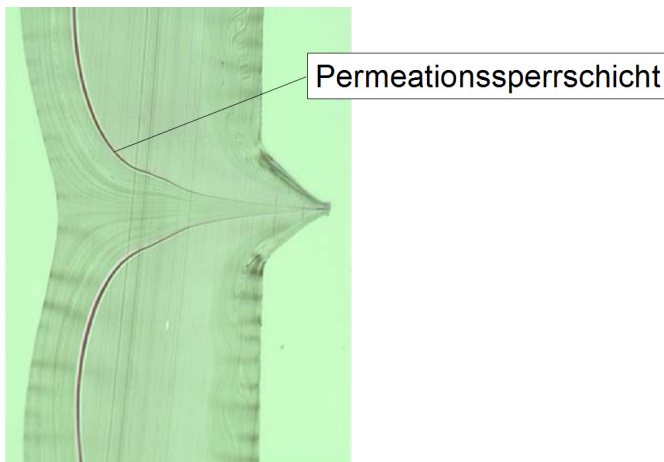


Abbildung 10: COEX Quetschnaht im mikroskopischen Dünnschnitt [27]

Sowohl das Grundmaterial (HDPE) als auch EVOH sind bei tieferen Temperaturen spröde und müssen vor Wasser und Alkoholen geschützt werden. Eine Beeinträchtigung der Sperrschicht führt zu mechanischem Versagen des gesamten Schichtaufbaus. Aus diesem Grunde ist es nötig, der Gestaltung von Quetsch-/Schweißnähten beim so hergestellten Hohlkörper durch entsprechende Werkzeuggestaltung Rechnung zu tragen, damit das HDPE auch an dieser Stelle mechanisch die tragende Funktion übernehmen kann.[28]

Tankeinfüllrohre

Tankeinfüllrohre werden je nach Bauweise bzw. Emissionsanforderungen auch mit COEX-Material gefertigt. Durch die konstruktive Auslegung mancher Tanksysteme steht das Einfüllrohr zum Teil unter Kraftstoff und unterliegt somit Einflüssen wie Alterung, Quellung und nicht zuletzt Permeation. Daher werden bei Tankeinfüllrohren speziell zur Erfüllung von schärferen Emissionsanforderungen Monolayer-Lösungen von COEX abgelöst, um das Gesamtsystem zu verbessern.

Emissionseigenschaften

Coextrudierte KKBs mit integrierter Barrierschicht erzielen im Vergleich zu fluorierten Monolayer-Tankblasen wesentlich bessere Permeationswerte. In Diagramm 3 und 4 ist der Unterschied zwischen dem Permeationsverhalten von Kraftstofftanks aus reinem HDPE und aus COEX-Material anhand der Auswertung einer Vergleichsmessung gezeigt.

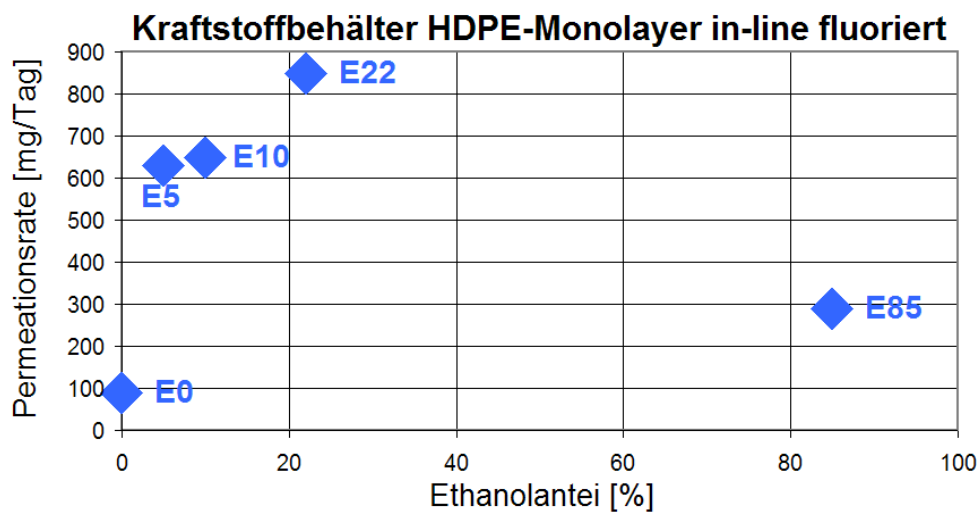


Diagramm 3: Permeationswerte eines fluorierten Monolayer-Kraftstoffbehälter [29]

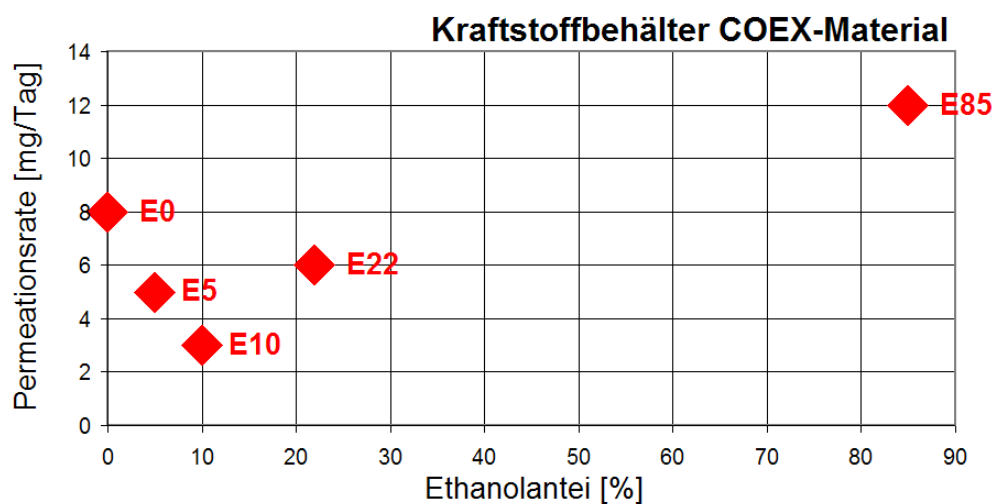


Diagramm 4: Permeationswerte eines COEX-Kraftstoffbehälters [30]

Je nach Erhöhung des Emissionssperrschichtanteils in der Materialwandstärke kann die Sperrwirkung erhöht werden. Die Auswertung eines Tankherstellers zeigt den Einfluss des Sperrschichtanteils auf die Emissionen der Tankblase anhand des Diagramms 5.

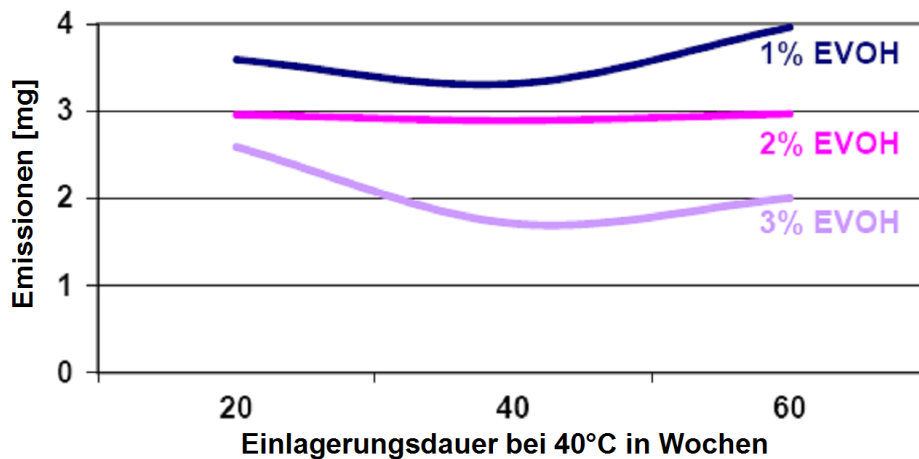


Diagramm 5: Emissionsrate bei unterschiedlichem Sperrschichtanteil [31]

Das Blasformverfahren mit Multilayer-Material erfordert eine komplexere Produktionstechnologie als beispielsweise mit Monolayer-Material. Die Herstellung setzt eine prozessgerechte Konstruktion der Tankblase und der Herstellungsanlagen voraus und erfordert wesentlich umfangreichere Abstimmungsarbeiten für die Einstellung sämtlicher Produktionsparameter, wie zum Beispiel Extrusionsgeschwindigkeit, Homogenität der verschiedenen Schichten, Wanddickenverteilung, oder Abkühlungsverhalten. Diese Parameter wirken sich grundlegend auf die Qualität, Maßhaltigkeit und Emissions-eigenschaften der Teile aus.

Vorteile des Verfahrens

- verbesserte Emissionswerte im Vergleich zu Monolayer-Verfahren
- tauglich für EURO 5 und LEV II Anwendungen
- Permeationssperrschicht kann nicht durch äußere Einflüsse beschädigt werden

Nachteile im Vergleich zu Monolayer-ausführungen

- Aufwändigere Produktionsprozesse und Produktionsanlagen (Extrusionsanlage, etc.)
- Volumenverlust aufgrund Berücksichtigung der Quetschnaht im Fahrzeugbauraum

2.3.1.4 Ship-in-a-bottle Verfahren (SIB)

Das „Ship-in-a-bottle“ Verfahren ist ein von der Firma TI-Automotive entwickeltes Verfahren für die Verarbeitung von Coextrusionsmaterial, mit welchem bei Markteinführung im Jahr 2002 erstmalig serienmäßig Kunststofftanks hergestellt werden konnten, die den amerikanischen PZEV- (Partial Zero Emission Vehicle) Emissionsvorschriften des US Bundesstaates Kalifornien entsprechen.

Systemintegration

Das entscheidende konstruktive Merkmal besteht in der Systemintegration von Tankkomponenten. Dies bedeutet, dass Entlüftungsventile, Kraftstoffpumpen und –filter, Tankfüllstandsensoren und weitere Komponenten im Inneren des Tanks untergebracht sind. Es wird dafür eine Trägerkonstruktion verwendet, die mit sämtlichen im Tank befindlichen Komponenten bestückt ist und während des Herstellungsvorgangs als komplettes Modul im Coextrusionsschlauch positioniert wird. Im Blasformprozess wird das extrudierte Schlauchmaterial in definierte Form gebracht. Dabei umschließt es das Trägermodul komplett. Die Verbindung der kraftstofffördernden und entlüftungsrelevanten Komponenten mit den Fahrzeugschnittstellen außerhalb der Tankwand ist mit Leitungsanschlüssen im Servicedeckel des Kraftstofffördermoduls gegeben.

Auf den Fotos der Abbildung 11 ist ein Ship-in-a-bottle Kraftstofftank und das zugehörige Trägermodul abgebildet:



Abbildung 11: Ship-in-a-bottle Kraftstofftank [32]

Durch die Systemintegration von Komponenten kann die Anzahl der Leitungsdurchtritte, Montageöffnungen, sowie Durchgangsschweißungen für Ventile oder Nippel durch die Tankwand verringert werden. Die Tanksperrschicht wird somit weniger oft durchbrochen und enthält weniger Emissionsfenster (2 Öffnungen anstelle von 6-7 Öffnungen bei konventionellen Systemen).

Weiters werden Emissionen durch Permeation und Mikroleckagen der integrierten Systemkomponenten innerhalb der Tanksperrschicht gehalten und vom messungsrelevanten Außenbereich abgegrenzt. Somit können die Emissionsraten des Kraftstoffbehälters auf PZEV-taugliche Werte reduziert werden.

Vorteile des Verfahrens:

- verbesserte Emissionswerte durch Systemintegration im Vergleich zum konventionellen Coextrusionsblasformen
- tauglich für LEV II und PZEV-Anforderungen

Nachteile des Verfahrens:

- aufwändige Werkzeuggestaltung verglichen mit konventionellem Coextrusionsblasformen

2.3.1.5 Tiefziehverfahren (Twin Sheet –Verfahren)

Das Tiefziehverfahren ist ein weiterentwickeltes Verfahren zur Verarbeitung von COEX-Material bei Kunststofftanks. Es nutzt die vorteilhaften Eigenschaften der Systemintegration von Tankkomponenten um PZEV-Emissionsvorschriften erfüllen zu können und bietet Vorteile hinsichtlich Konstruktion und Flexibilität des Herstellungsprozesses.

Es unterscheidet sich zu den Blasformverfahren insoweit, dass anstelle der schlauchförmigen Materialeextrusion in der Anlage hierbei ein vorgefertigtes Plattenmaterial verarbeitet wird.

Herstellungsverfahren

Die vorgefertigten HDPE - Mehrschichtplatten werden nach einer vorhergehenden Aufheizungsphase in einer so genannten Thermoformer-Anlage durch einen Vakuumtiefziehprozess separat zu Tankschalen geformt und anschließend mit innenliegenden Tankkomponenten bestückt. Im nächsten Schritt werden die vorgefertigten Tankschalen im warmen Zustand aneinandergedrückt und gehalten. Durch entsprechende Konstruktion des Werkzeuges wird dabei eine umlaufende Pressnaht ausgeformt, welche die Ober- und Unterschale des Tanks verbindet. Danach werden die entstandenen Randbereiche beschnitten und der Kraftstoffbehälter mit Montageteilen komplettiert.

Zur Erhöhung der Formstabilität werden teilweise nachträgliche Kühlungsschritte in den Herstellungsvorgang integriert. Die Abbildung 12 zeigt schrittweise das Herstellungsprinzip des Tiefziehverfahrens.

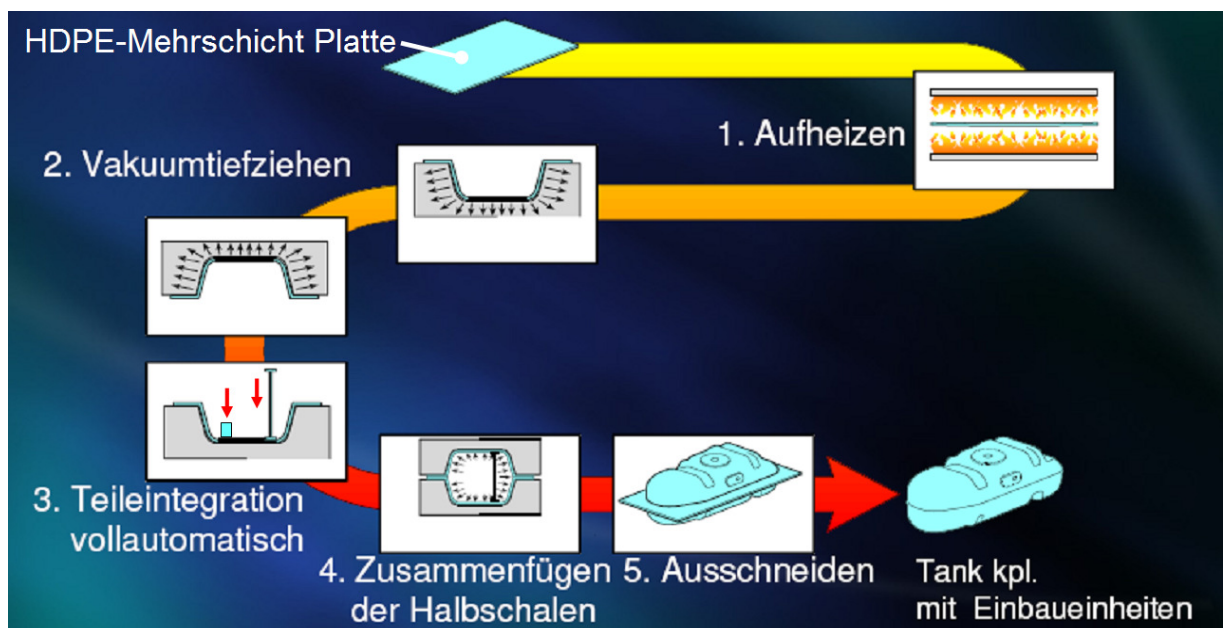


Abbildung 12: Herstellungsprinzip des Tiefziehverfahrens [33]

Die Verwendung von HDPE-Platten als Ausgangsmaterial für den Tiefziehprozess ermöglicht eine sehr konstante Schicht- bzw. Wanddickenverteilung (Angabe eines Herstellers: Durchschnittliche KKB Wanddicke $4,5 \pm 0,3\text{mm}$).

Gleichzeitig ergibt sich eine hohe Dimensionstreu der Folgeprozesse, was zu einer hohen Formstabilität des Kraftstoffbehälters führt.

Gleich wie beim COEX-Blasformverfahren ist hier das Basismaterial der extrudierten HDPE Platten mit einer innenliegenden EVOH-Emissionssperrschicht ausgestattet. Zwischen HDPE und EVOH befindet sich ein Haftvermittler zur Verbindung der beiden Materialien. Weiters darf zwischen der Permeationssperre und dem HDPE eine Regranulat-Schicht eingebracht werden. Es können dadurch bis zu 7-schichtige Materialkombinationen mit symmetrischem Aufbau entstehen, siehe Abbildung 13.

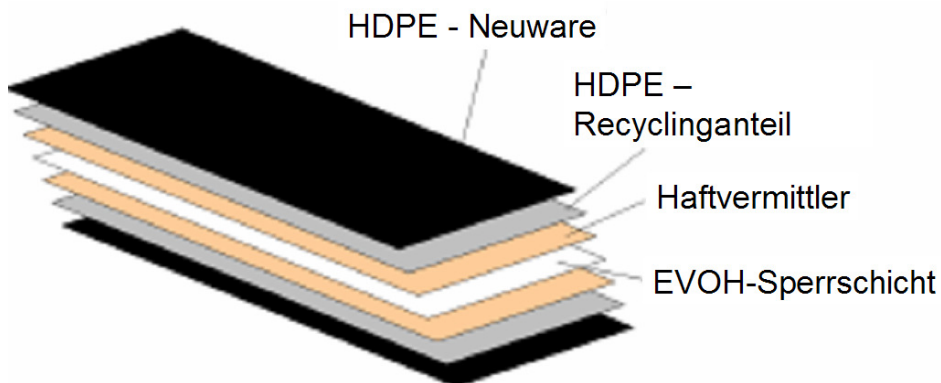


Abbildung 13: Aufbau einer 7-schichtigen HDPE Platte [34]

Das Extrusionsmaterial wird, wie in der Abbildung 14 ersichtlich, anhand einer Breitschlitzdüse in eine flache Form gebracht. Es ist bei diesem Prozess auf einfache Weise möglich Schichtdicken und Plattengröße zu verändern, was dieses Verfahren hinsichtlich Plattendimension und Umrüstzeit sehr flexibel macht.

Durch HDPE-Randkapselung wird zur Kostensenkung der EVOH-Verbrauch vermindert. Die EVOH-freien Beschnittträger des extrudierten Materials können zu 100% wiederverwertet werden.

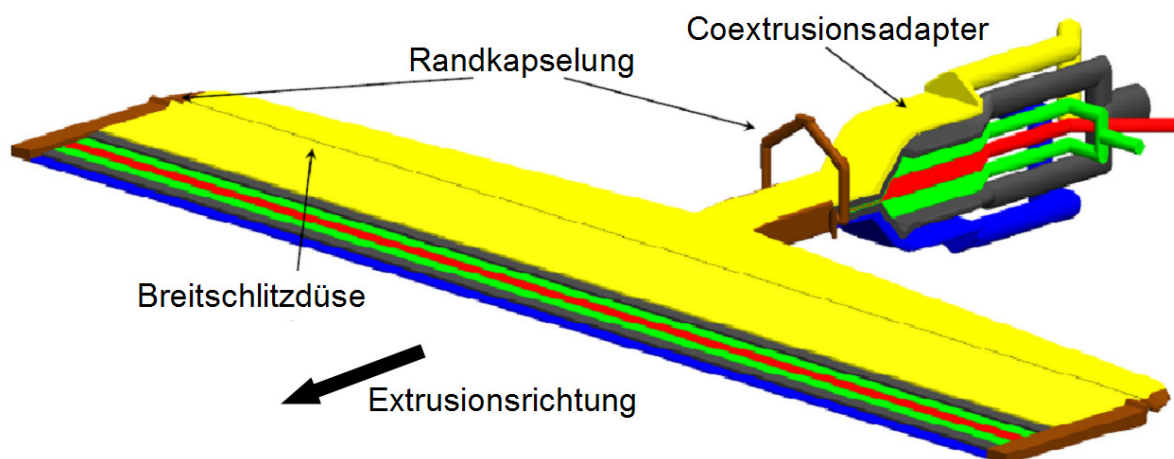


Abbildung 14: Schmelzefluss im Coex-Plattenextruder [35]

Schweißungen

Beim Zusammenschweißen der Tankhalbschalen ist genau darauf zu achten, dass an der Schweißnaht die Emissionssperrschicht im Material nicht unterbrochen wird. Die folgende Abbildung 15 zeigt die Pressnaht eines Kraftstoffbehälters anhand eines Schnittbildes.

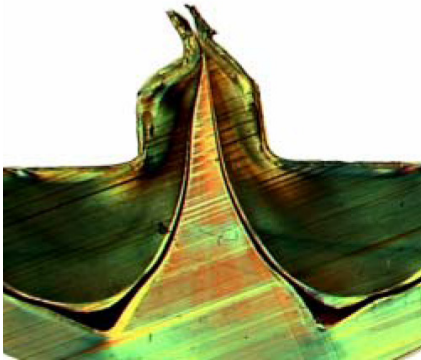


Abbildung 15: Pressnaht eines Twin-Sheet KKBs [36]

Im Schnittbild der Abbildung 16 wird am Beispiel einer alternativen Schweißprozessgestaltung das Ergebnis einer Heizelement-Stumpfschweißung dargestellt. Die Barriere-schicht legt sich im Schweißwulst übereinander und sichert durch die Überlappung eine emissionsoptimierte Materialverbindung.

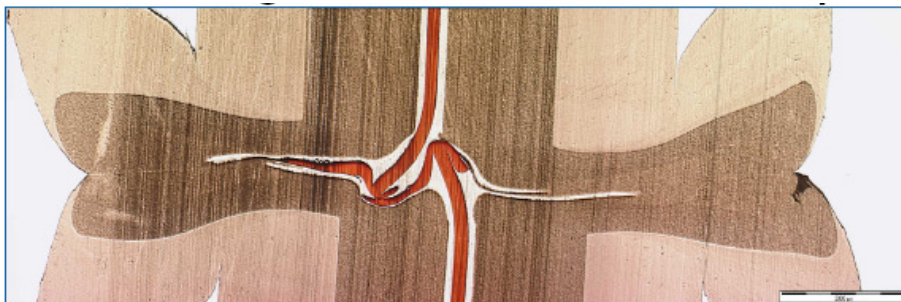


Abbildung 16: Verschweißung von HDPE-Mehrschichtplatten [37]

Tankeinfüllrohre, Nippel, Halter, oder andere Anbauteile können durch verschiedene Verfahren wie beispielsweise Spiegelschweißen, Reibschweißen, oder Ultraschallschweißen an die Tankblase gefügt werden.

Speziell bei den geringen Wandstärken von tiefgezogenen Tanks kann durch das Anschweißen von Komponenten die EVOH Sperrschicht beschädigt werden. Deshalb ist

es von hoher Wichtigkeit, dass die Welligkeit der EVOH Schicht im Plattenmaterial gering gehalten wird und der Wärmeeintrag in das Tankmaterial im Schweißprozess nicht bis zur Barrierschicht reicht. In Abbildung 17 ist ein angestrebtes Ergebnis einer Anschweißung des Tankeinfüllstutzens zu sehen.

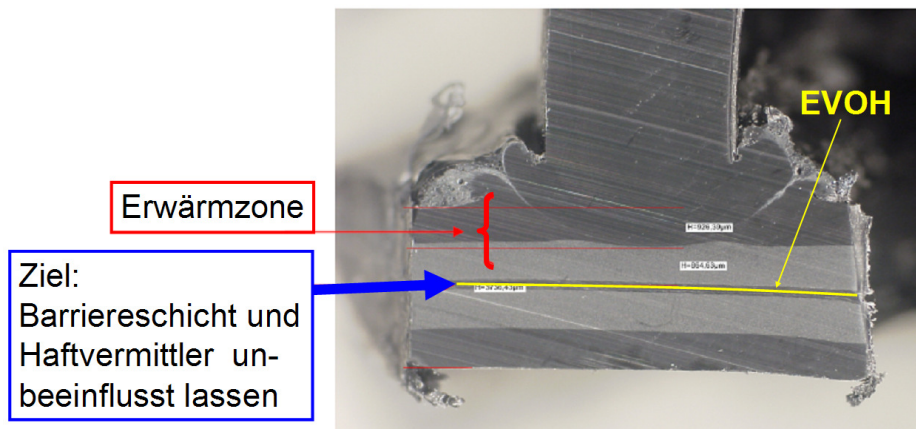


Abbildung 17: Schnittbild einer Tankeinfüllstutzen-Anschweißstelle [38]

In der umlaufenden Schweißnaht des Tanks werden keine Befestigungsflansche oder – laschen integriert, was vergleichsweise in Blasformtankkonzepten oft umgesetzt wird. In diesem Fall muss bei Bedarf auf separate angeschweißte Halter zugegriffen werden, welche allerdings einen Mehraufwand hinsichtlich Investitionskosten, Prozesszeit und Teilekosten bedeuten. Weiters sind bei einer solchen Lösung sicherheitstechnische Aspekte hinsichtlich Crasheigenschaften zu berücksichtigen. Die angeschweißten Halter dürfen aufgrund ihrer Bauweise und Lage im Crashfall keine kraftstoffführenden Bauteile beschädigen.

Systemintegration bei Halbschalenbauweise

Die Systemintegration von Tankkomponenten bildet den wesentlichen Vorteil dieses Verfahrens hinsichtlich Emissionsminderung und Prozessoptimierung. Durch die Zweischalenbauweise können Einbaukomponenten vor dem Zusammenschweißen der Tankhälften sehr einfach in die Tankschalen eingelegt und optimal positioniert werden. Dieses Verfahren erweist sich dadurch als äußerst flexibel beim Komplettierungsvorgang und nachträglichen konstruktiven Änderungen von integrierten Komponenten.

Beispiele für integrierte Komponenten sind das Ventilsystem mit Entlüftungsleitungen, Kraftstoffpumpe mit Filtereinheit, Füllstandgeber, zum Teil Aktivkohlefilter, Schwappschutzkomponenten (Schwallwände), Additivbehälter, usw.

Das Entlüftungssystem wird vor dem Verbau im Tank auf Dichtigkeit geprüft.

Anhand der Abbildung 18 werden integrierte Baugruppen in der Oberschale (links) und der Unterschale (rechts) dargestellt.

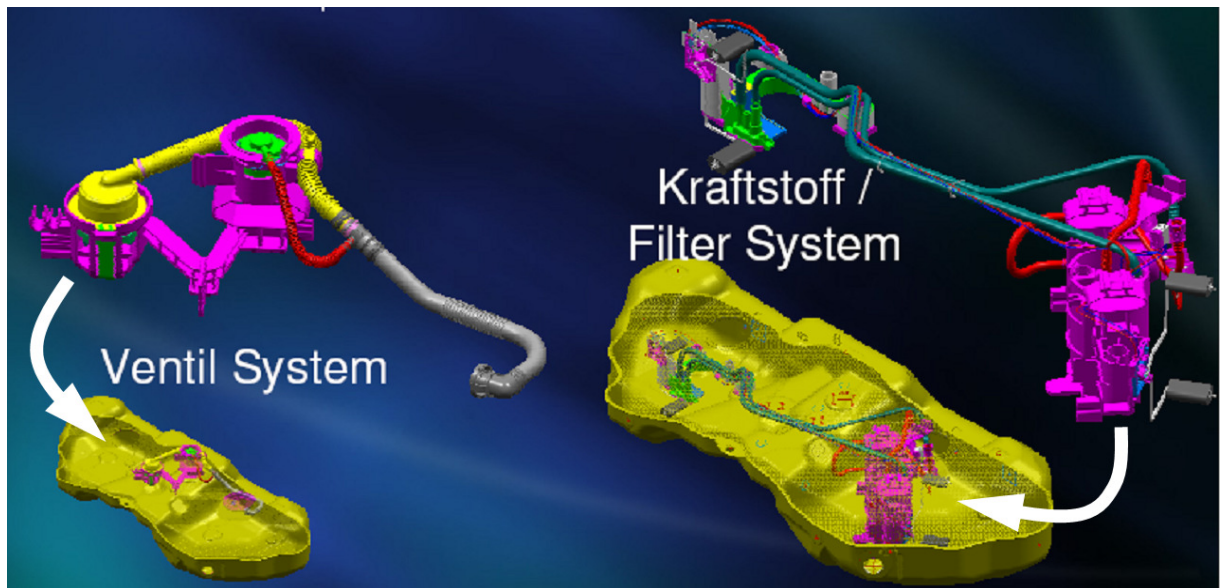


Abbildung 18: Integrierte Tankkomponenten in der Ober- und Unterschale [39]

Die folgende Abbildung 19 zeigt ein Beispiel für einen Twin Sheet–Kraftstofftank aus einer bestehenden Serienproduktion.



Abbildung 19: Twin Sheet–Kraftstofftank [40]

Vorteile dieses Tiefzieh-Verfahrens:

- Emissionswerte tauglich für PZEV Anwendungen
- Konstruktive Vorteile an der Tankblase durch Schalenbauweise
 - Gleichmäßigere Wanddickenverteilung im Vergleich zum Blasformen
 - Geringere Wandstärke möglich (Kosten, Tankvolumen, Gewicht)
 - Tankgeometrie ist formstabiler
 - Verringeres Totvolumen durch optimierte Schwalltopfpositionierung
- Systemintegration
 - Integration von Fördereinheit, Saugstrahlpumpen, Entlüftungssystem, Füllstandgeber, Schwappschutz, Einbringung weiterer Komponenten möglich (Aktivkohlefilter, Additivbehälter, etc.)
 - Erhöhung des Füllvolumens durch Nutzung des Bauraums entfallener Komponenten an der Tankaußenseite und optimierten Ventilpositionen möglich

Nachteile des Tiefzieh-Verfahrens:

- Höhere Material- und Prozesskosten im Vergleich zum Blasformverfahren
- Mehrere Verfahrensschritte erforderlich
- Halterintegration im Quetschflanschbereich nur bedingt möglich

2.3.1.6 Twin Sheet Blow Moulding (TSBM - Verfahren)

Twin-Sheet-Blowmoulding ist ein weiterentwickeltes Verfahren zur Herstellung von PZEV-tauglichen Kraftstoffbehältern aus mehrschichtigem Extrusionsmaterial.

Herstellungsprozess

Als kennzeichnendes Merkmal gilt hierbei die Kombination von Produktionsprozessen aus dem Twin Sheet- und Blasformverfahren. Es werden Herstellungsschritte wie Plattenextrusion, Blasformen, Komponenteneinbringung und Verbindung der Tankschalen in einer einzigen Maschine durchgeführt.

Dieser optimierte Prozess spart Arbeitsstationen ein und verringert den Energieaufwand in der Herstellung durch den Entfall von Aufheizphasen in separaten Schritten. Wie beim Tiefziehverfahren werden auch hier die Vorteile der Systemintegration genutzt und entsprechend gute Emissionseigenschaften erzielt. In der Abbildung 20 werden die Produktionsschritte des Verfahrens schrittweise dargestellt.

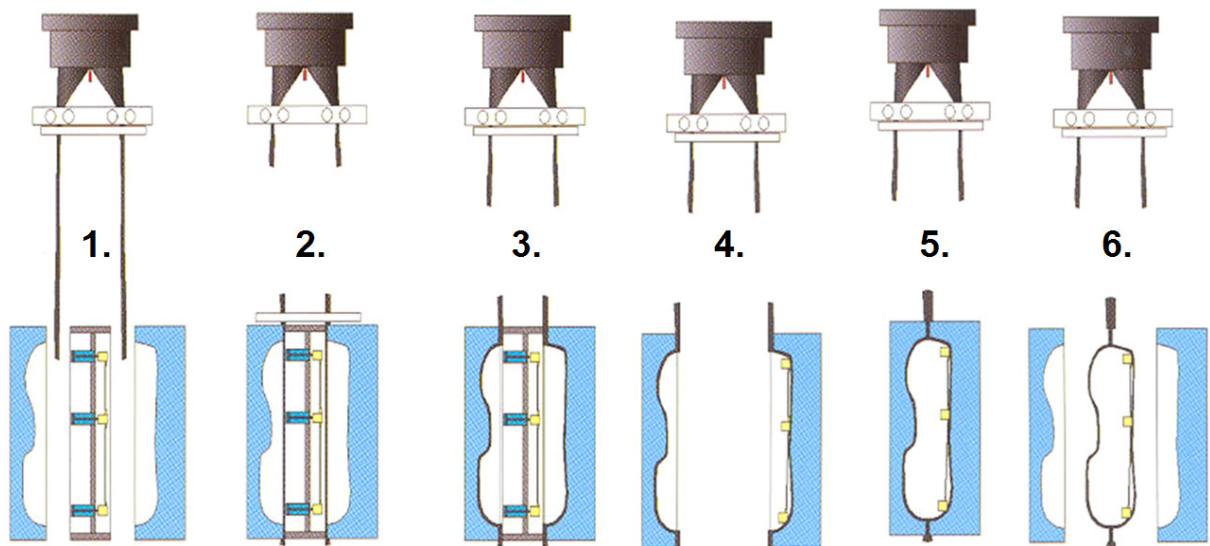


Abbildung 20: Herstellungsschritte im TSBM-Verfahren [41]

1. Plattenextrusion, Kern wird mit Einbaukomponenten beladen
2. Plattenbeschnitt, Schließen des Werkzeuges mit Kern
3. Erster Blasprozess, Befestigung der Einbaukomponenten
4. Werkzeug öffnen, Zurückziehen des Kerns
5. Werkzeug schließen, zweiter Blasprozess, Verbindung der Tankhälften
6. Werkzeug öffnen, Tank auswerfen

Ein wesentlicher Unterschied zum konventionellen Blasformen ist die Extrusion von flachen Platten in der Fertigungsanlage anstelle von Schläuchen.

Systemintegration

Durch die Schalenbauweise können Bauteile wie Ventile ohne Tankwanddurchtritt stumpf an die Tankinnenwand geschweißt werden.

Auf diese Weise können die Ventile an exponierten Stellen am Tank, näher an den Außenradiusbereichen der Tankblase positioniert werden, siehe Abbildung 21. Dies kann zu einer Erhöhung des entlüftbaren Kraftstoffvolumens und somit zur Steigerung der Tankkapazität führen.

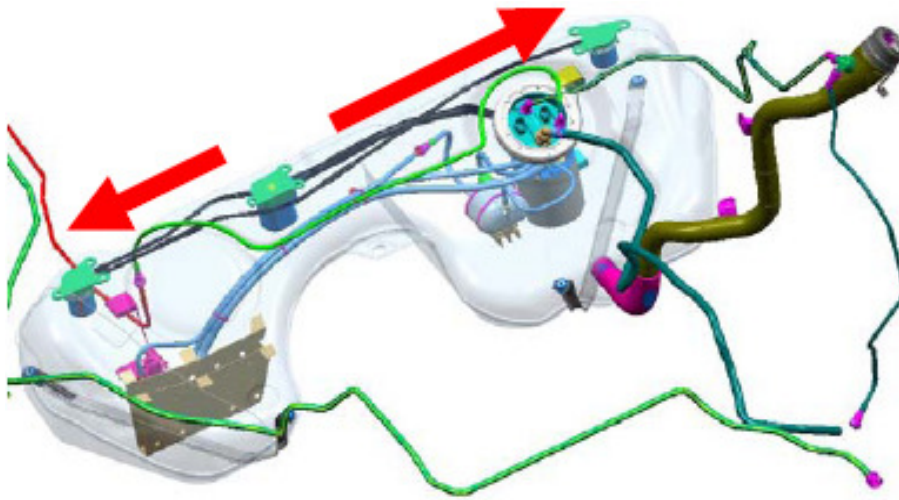


Abbildung 21: Ventilpositionen in einer TSBM Tankblase [42]

Auch Komponenten aus mit HDPE nicht schweißkompatiblen Materialien (z.B. POM), können in den Tank eingebracht werden, indem Adapterhalter in die Tankschale eingeschweißt werden. Die Komponenten (maximale Masse 1 Kg) werden danach in den vorbefestigten Adaptern eingeklipst.

Beim TSBM Verfahren kommt eine spezifische Konstruktion der Quetschnaht zum Einsatz. Dabei wird, wie in Abbildung 22 zu sehen ist, der Überlappungsbereich der Sperrschichten ausgeprägt lang gestaltet, um die Emissionssperrwirkung zusätzlich zu erhöhen.

Eine abgewinkelte Kontur des Flansches verringert den Platzbedarf der Quetschnaht an der Behältergeometrie, um den Volumenverlust im Bauraum gering zu halten. Der Hersteller gibt an, Emissionsraten von max. 1,5 mg/Meter zu erreichen (herkömmliche Quetschnaht ca. 5-6mg/Meter) [43].

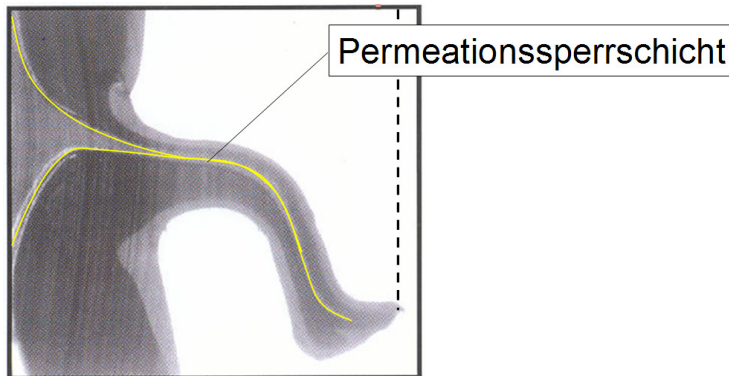


Abbildung 22: Schnittdarstellung einer Quetschnaht eines TSBM Kraftstoffbehälters [44]

Vorteile des TSBM-Verfahrens:

- Emissionseigenschaften tauglich für PZEV-Anwendungen
- Vorteile wie Twin-Sheet Verfahren
 - o Systemintegration
 - o Konstruktive Vorteile durch Schalenbauweise
- Einsparung von Arbeitsstationen und Energieaufwand in der Herstellung

Nachteile des TSBM-Verfahrens:

- Komplexität der Produktionsanlage und des Herstellungsprozesses
- Prozessgerechte Konstruktion der KKB-Baugruppe erforderlich
- Halterintegration im Quetschflanschbereich nur bedingt möglich

2.3.2 Kraftstoffbehälter aus Metall

2.3.2.1 Merkmale von Metalltanks

Seit Beginn des Automobilbaus werden Kraftstofftanks aus Metall verwendet und sind als konventionelle Lösungen bekannt. Durch die Einführung von Kunststofftanks wurden die Stahl tanks zunehmend aus Massenprodukten verdrängt. Aus heutiger Sicht sind sie in Form von sehr einfachen Konstruktionen und Herstellungsverfahren nach wie vor in vielen großvolumigen Märkten wie beispielsweise Asien verbreitet. Das Hauptaugenmerk gilt jedoch Stahl tanksystemen, welche die vorteilhaften Eigenschaften von Metallwerkstoffen für spezielle Anwendungen nutzen. Sie werden daher typischerweise als technologisch hochwertige Systeme für Märkte mit PZEV- Anforderungen angewendet.

Emissionseigenschaften von Stahl tanks

Metall tanks haben ausgezeichnete Permeationseigenschaften. Durch das Wandmaterial von Stahl tanks und -einfüllrohren gibt es keine Permeation von Kohlenwasserstoffmolekülen.

Die Komponentenintegration bei der Schalenbauweise, wie sie in weiterer Folge auch bei Kunststofftanks angewendet wurden, reduziert Emissionsfenster und ist ein weiterer Grund für die gute Permeationsstabilität von Metall tanks. Sämtliche kraftstoff-, oder kraftstoffdampf führenden Komponenten werden hierbei in die Tankblase integriert und die Tankwanddurchtritte auf ein Minimum reduziert (Bsp.: Pumpenmodul, Betriebsentlüftung, Betankungsentlüftung).

In der Tabelle 5 sind die Emissionswerte von Stahltankkomponenten anhand eines gemessenen Beispiels gelistet.

Permeationswerte am Beispiel eines Stahltanksystems [mg/24h]			
Bauteil	min	max	
Tankblase	0	0	
Pumpenmodul -Deckel	1	4	
Pumpenmodul - Flanschdichtung	1	5	
Verbindungsstück Tank zu Einfüllrohr	1	5	
Tankeinfüllrohr (Stahl)	0	0	
Einfüllkopf	0	0	
Tankverschlussdeckel	5	10	
Ventil	5	10	
Anschluss Entlüftungsleitung	1	5	
Entlüftungsleitung zu AKF	2	2	
Anschluss Kraftstoffvorlaufleitung	1	3	
Summe	17	44	[mg/24h]

Tabelle 5: Gemessene Permeationswerte eines Stahltanksystems [45]

Tankvolumen

Blechtanks hatten zu Beginn bedingt durch beschränkte Herstellungsmöglichkeiten sehr einfache Geometrien und dadurch in manchen Anwendungen einen Volumennachteil im Vergleich zu Konstruktionen aus Kunststoffmaterial. Durch die Verbesserung der Produktionsmethoden und Metall-Tiefziehtechnik, insbesondere der Entwicklung in den letzten Jahren, konnte die Komplexität der Blechtankformen erhöht werden. Dies kann den Volumennachteil unter zusätzlicher Berücksichtigung der geringeren Wanddicken der Tankschale von ca. 0,8mm kompensieren und in manchen Fällen sogar aufheben.

Gewicht

Um einen wahren Gewichtsvergleich zwischen Tanksystemen aus Metall und Kunststoff zu schaffen sind sämtliche Ausführungen und Parameter je nach Varianten und Anforderungen genau zu betrachten und gegenüberzustellen. Ein allgemeiner Richtwert besagt, dass das Gewicht von Metalltanks im Vergleich zu adäquaten Kunststoffvarianten ca. 10% höher sein kann.

Weitere Aspekte

Metalltanks in Edelstahlausführung haben erhöhte Beständigkeit gegen sämtliche konventionelle, sowie alternativen Kraftstoffe. Dieses Thema wird mit dem Kapitel „3. Biologische Kraftstoffe“ detaillierter behandelt.

Die Korrosionsbeständigkeit bei der Verwendung von niedriglegierten Stählen ist jedoch bedingt. Es sind in diesen Fällen Lackierungen oder stabileren Beschichtungen (z.B. Unterbodenschutz) zum Schutz vor Steinschlag und dessen Folgewirkungen erforderlich. Stahltankvarianten aus Edelstahlmaterial sind gegen Korrosion wesentlich beständiger, trotzdem werden jedoch in vielen Fällen Schutzbeschichtungen verwendet.

Die Temperaturbeständigkeit von Stahltanks ist wesentlich höher als bei Kunststoffanwendungen. Hohe Spitzentemperaturen von Rücklaufkraftstoff aus modernen Dieselmotoren mit Direkteinspritzsystemen (bis maximal 120 °C kurzzeitig) sind bei Metalltanks daher weniger kritisch.

Im umgekehrten Sinn kann die Eigenschaft von Metall bei Wärmeeintrag von Außen wegen seiner geringen Isolationseigenschaft von Nachteil sein. Dem Schutz gegen Wärmequellen aus Umgebungsbauteilen (beispielsweise Abgasanlage) ist mit geeigneten Maßnahmen wie Wärmeabschirmblechen Rechnung zu tragen.

Seitens Elektrostatik ergibt sich bei Metalltanks ein Vorteil, da die größten Komponenten des Systems (Tankblase und Tankeinfüllrohr) aus elektrisch leitfähigem Material bestehen. Maßnahmen zur elektrostatischen Ableitung werden dadurch vereinfacht.

Kostensituation

Metalltanksysteme sind verglichen mit Kunststoffvarianten aufgrund der Materialkosten und des erhöhten Verarbeitungsaufwandes allgemein kostenaufwändiger. Die Werkzeug- und Investitionskosten sind wesentlich höher und erfordern sehr hohe Stückzahlen, um eine Amortisation zu erreichen.

Um eine kostenorientierte Entscheidung für die Anwendung von Kunststoff- oder Stahltanksystemen zu treffen, ist eine genaue Vergleichsuntersuchung zu empfehlen.

Abgesehen von technischen Anforderungen aus Vorschriften können viele andere Parameter für eine nachhaltig richtige Entscheidung ausschlaggebend sein. Dazu zählen neue Technologien, Prozesse zur Herstellung, sowie die wirtschaftliche Marktentwicklung hinsichtlich Rohstoffen und deren Verfügbarkeit.

In bestimmten Fällen erscheint ein Kostenpotential im Vergleich zu Kunststoffvarianten dennoch möglich. Als Voraussetzung gilt dafür die Verwendung von günstigen niedriglegierten Werkstoffen und einfacher Herstellungstechnik, wobei das Potential im Vergleich zu Kunststoffvarianten trotz Berücksichtigung einer Schutzlackierung auf bis zu 5% geschätzt wird.

Vorteile von Metalltanks:

- Höchste Permeationsbeständigkeit
- Flexibilität durch Komponentenintegration (Ventilsystem, Schwallbleche, etc.)
- Kraftstoffbeständigkeit (bei Edelstahlvariante)
- Hohe Temperaturbeständigkeit des Materials (Kraftstoffrücklauf)
- Elektrisch leitfähiges Material (Vereinfachung der ESD-Maßnahmen)
- Gute Recyclingeigenschaften

Nachteile von Metalltanks:

- Hohe Material und Herstellungskosten
- Aufwendige Produktionstechnik
- Gewicht
- Korrosionsschutz erforderlich (materialabhängig)
- geringere thermische Isolationswirkung

2.3.2.2 Herstellungsverfahren

Vorerst werden Metalltanks in der Abbildung 23 nach den Grundwerkstoffen und in weiterer Folge hinsichtlich Werkstoffuntergruppen und Oberflächenbeschichtung klassifiziert:

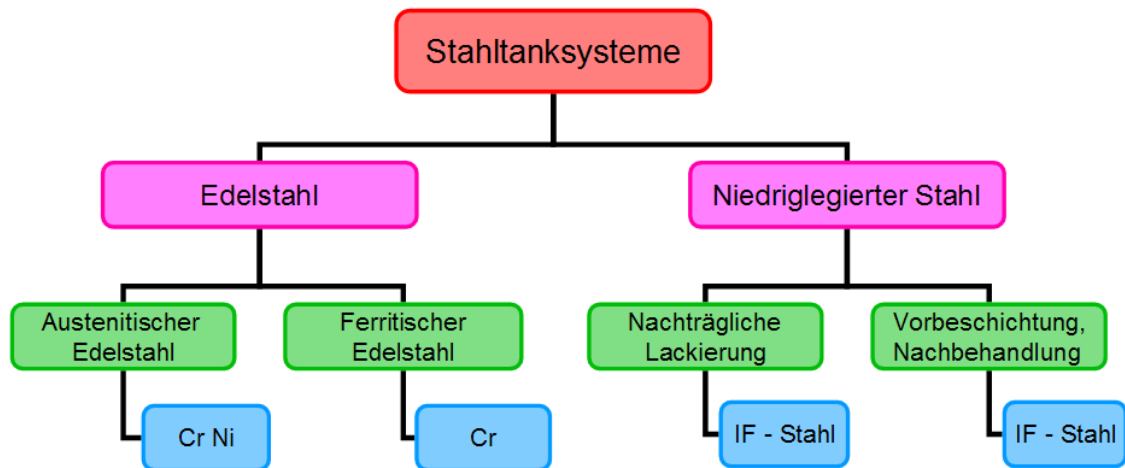


Abbildung 23: Varianten von Stahltankmaterialien [46]

Tanksysteme aus Edelstahl

Das Grundmaterial bei Edelstahltanks ist vergleichsweise kostenaufwändig, zeichnet sich jedoch durch gute Materialgüte aus. Dadurch können Bauteile von Edelstahltanks besser verarbeitet werden. Durch optimierte Herstellungsverfahren wie mehrstufige Tiefziehprozesse oder IHU-Verfahren sind komplexere Tankgeometrien möglich. Bekannte Werkstoffe für diese Varianten sind Edelstahl 1.4301 oder 1.4303. Neben konventioneller Füge-technik wie Rollennahtschweißen sind auch neuere Technologien möglich, wie zum Beispiel Plasma- oder Laserschweißen, sowie MAG-Schweißverfahren.

Tanksysteme aus niedriglegiertem Stahl

Tanksystemen aus niedriglegiertem Stahl haben durch ihr günstiges Grundmaterial einen Vorteil gegenüber der Edelstahlvariante, es sind jedoch Korrosionsschutzmaßnahmen zu berücksichtigen.

Typische Beispiele sind der Einsatz von feueraluminierten Blechen (FAL), zink-nickelbeschichteten Blechen, Lackierungen oder Beschichtung mit Unterbodenschutzmaterial. Bekannte Anforderungen hinsichtlich Korrosionsbeständigkeit sind 240h-Salzsprühnebeltest und 6 Wochen VDA-Klimawechseltest.

Die bekannten Verfahren zur Verschweißung von Tankschalen aus niedriglegiertem Stahl sind Rollennaht- und Punktschweißen. Bei beiden Verfahren ist aus konstruktiver Sicht ein Tankvolumenverlust zu erwarten, da aufgrund des breiteren Schweißflansches der Bauraum nicht wie bei beispielsweise Plasmaschweißen ausgenutzt werden kann. In manchen Fällen werden Bereiche des verschweißten Flansches nachträglich umgebogen, um den Tankvolumenverlust zu verringern.

Aluminiumtanks

Aluminiumtanks werden hauptsächlich wegen ihrem Gewichtsvorteil eingesetzt. Verarbeitungsaufwand und Kosten sind höher als bei zuvor beschriebenen Lösungen. Daher sind Aluminiumtanks zumeist in Sportwagen oder allgemein im Rennsportbereich eingesetzt. Andere bekannte Anwendungen sind der Motorradbereich oder Nutzfahrzeuge.

2.3.3 Vergleichsübersicht zu Tankherstellungsverfahren

Um einen Überblick über die Vielfalt der beschriebenen Tankherstellungsverfahren geben zu können, werden diese anhand einer Vergleichsübersicht in Tabelle 6 dargestellt. Dabei werden die wesentlichsten Herstellungstechniken von Kunststoff- und Metalltanks anhand von Disziplinen wie Produkteigenschaften, Konstruktionsmerkmalen, Kosten und produktionstechnischen Eigenschaften eingestuft.

Die Bewertung der verschiedenen Verfahren basiert auf Erfahrungswerten aus Entwicklungsprojekten, Herstellerangaben, sowie Erkenntnissen aus Fachgesprächen.

		Kunststoff					Stahl	
		Blasformen Monolayer	Blasformen COEX	Blasformen Ship-in-a-bottle	Twin Sheet Verfahren	Twin Sheet Blow Moulding	Stahltank niedrigleg. Stahl	Stahltank Edelstahl
Bewertungsstufen: +...besser -...schlechter o...neutral								
Eigen- schaften	Emissionseigenschaften	-	o	+	+	+	++	++
	Recyclingpotential	-	-	-	-	-	+	+
	Gewicht	o	o	o	+	+	-	-
Konstruktion	Geometriekomplexität	+	+	+	+	+	-	-
	Formstabilität	-	-	-	o	o	+	+
	Wandstärkenhomogenität	-	-	-	o	o	+	+
	Systemintegration	-	-	+	+	+	+	+
Kosten	Materialkosten	+	+	+	-	o	+	-
	Investitionskosten	o	o	o	o	+	-	-
Produktion	Arbeitsaufwand	-	-	+	o	+	-	-
	Änderungsflexibilität	-	-	+	+	+	+	+
	Produktionskapazität	+	+	+	o	+	-	-

Tabelle 6: Vergleichsübersicht über Tankherstellungsverfahren

2.3.4 Aktivkohlefilter

Bei der Verdunstung von Kraftstoff im Tank steigt der Druck im Gasvolumen an. Der entstehende Kraftstoffdampf wird über ein Entlüftungssystem in die Umgebung geleitet. In diesem System hat der Aktivkohlefilter die Aufgabe, die Kohlenwasserstoffe aufzufangen und trägt somit maßgeblich zur Reduktion von HC-Emissionen in Kraftstoffversorgungsanlagen bei. Die Aktivkohle absorbiert die HC aus dem Kraftstoffdampf und filtert so die durchströmende Luft. In der Abbildung 24 ist die Funktionsweise eines Aktivkohlefilters schematisch dargestellt.

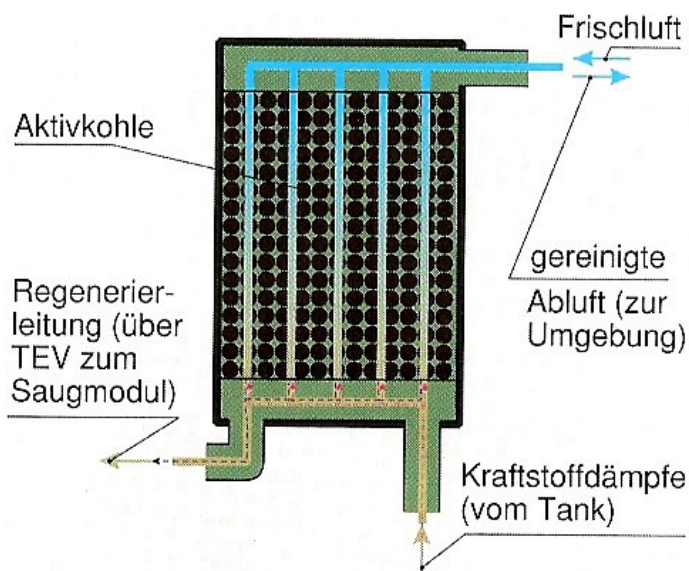


Abbildung 24: Schematisch Darstellung eines Aktivkohlebehälters [47]

Die Größe der Aktivkohlefilter richtet sich hauptsächlich nach der Tankkapazität. In Europa liegt das Aktivkohlevolumen üblicherweise zwischen 1 und 1,5 Liter, bzw. einer Arbeitskapazität von ca. 50 – 60g BWC (Butan Work Capacity). In Nordamerika werden aufgrund der Mehrbelastung des AKF durch die Beladung während des Betankungsvorganges größere Volumen von bis zu 3,5 Liter (ca. 200g BWC) eingesetzt.

In modernen AKF-Modulen werden neben dem Aktivkohlebehältnis auch verschiedene andere Systemkomponenten wie OBD-Drucksensoren und -absperrentile, sowie Staubfilter, Flüssigkeitsfallen oder Spülluft-Kammern mit Pufferfunktion konstruktiv integriert.

In der Abbildung 25 ist ein dem aktuellen Entwicklungsstand entsprechenden AKF-Modul für den amerikanischen Fahrzeugmarkt abgebildet.

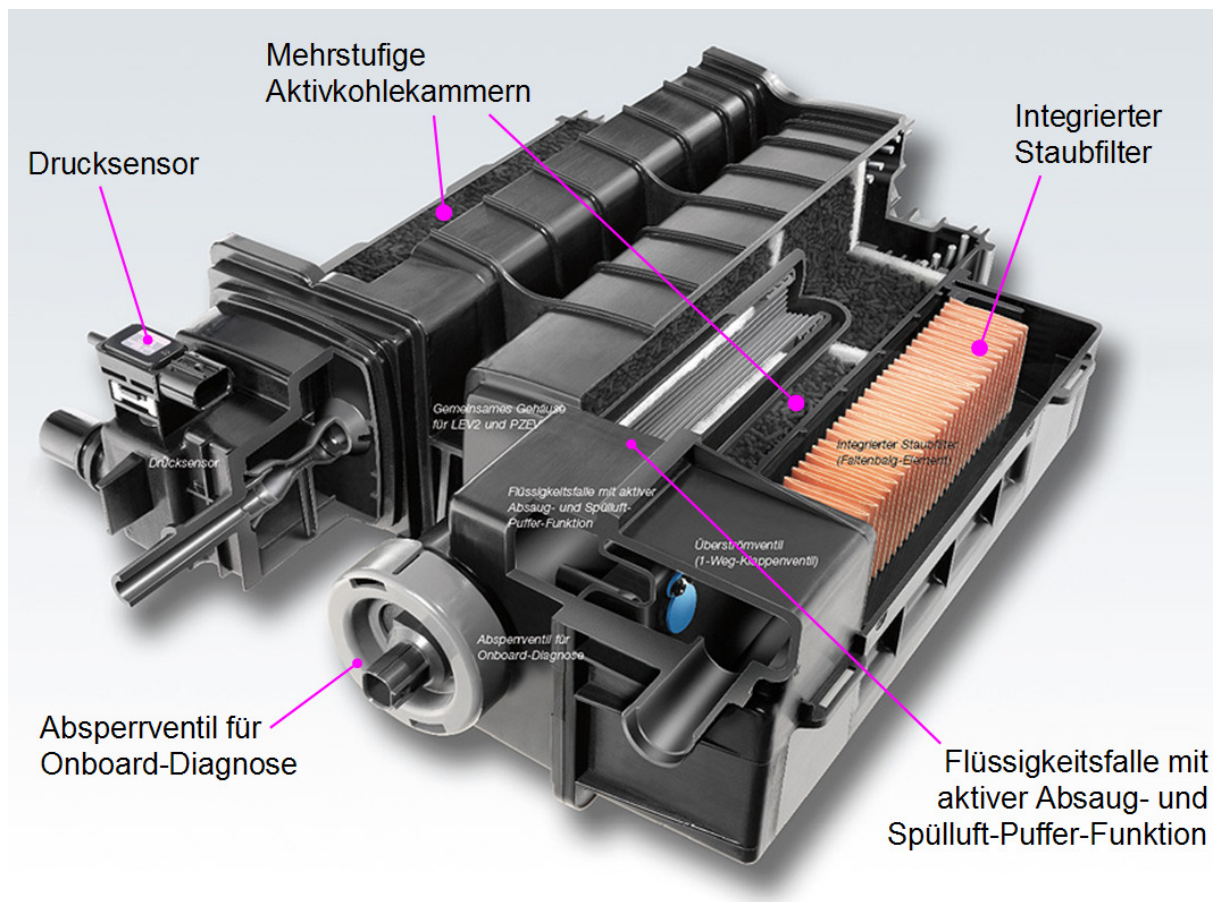


Abbildung 25: Schnittmodell eines AKF-Moduls für LEV2 und PZEV-Anwendungen [48]

Regenerierung

Aktivkohlefilter haben eine begrenzte Aufnahmekapazität und machen daher eine Regenerierung der Aktivkohle erforderlich. Dies geschieht anhand einer Verbindungsleitung zum Motorsaugrohr, durch welche die gespeicherten Kraftstoffdämpfe abgesaugt und der Motorverbrennung zugeführt werden. Die Motorelektronik steuert das Öffnen und Schließen des in der Verbindungsleitung befindlichen Regenerierventils und definiert somit die Regenerierzyklen.

Das Rückhaltevermögen der Aktivkohle hängt stark von der Qualität der Regenerierung und damit von der Spülluftstrategie des betreffenden Fahrzeugs ab.

In der Abbildung 26 ist der Vorgang der Regenerierung im Fahrzeug schematisch dargestellt.

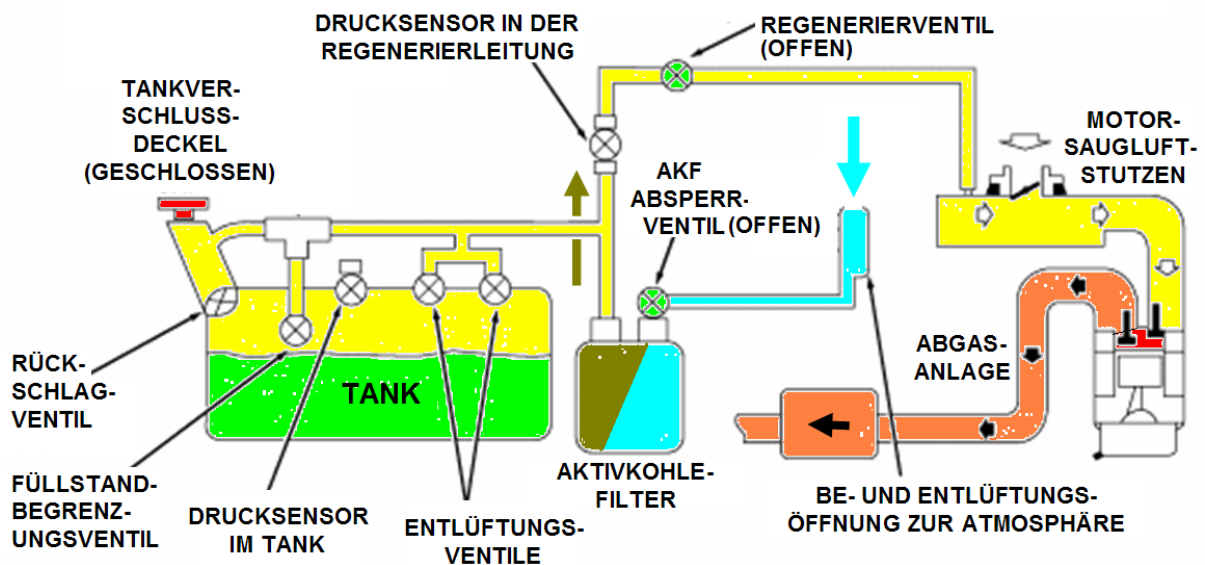


Abbildung 26: Schematische Darstellung eines AKF-Spülvorganges

Für moderne Direkteinspritzer-Motoren sind die Anforderungen an die Spüleigenschaften sehr hoch, da wenig Spülluft zur Verfügung gestellt werden kann. Aus Sicht von Motorenentwicklern ist die verfügbare Kapazität der Spülluft während des Fahrzeugbetriebs insofern begrenzt, da es zum Einen schwieriger ist, bei Spülluftbetrieb gute Abgasemissionswerte zu erzielen und zum Anderen die Luftversorgung des Motors während des Regenerierzyklus eingeschränkt ist. Aus diesem Grund liegen die Regenerierphasen hauptsächlich im Leerlauf- oder Teillastbetriebs des Motors. Neue Motorenkonzepte besitzen teilweise bereits Einrichtungen zur Vollastregenerierung.

Die Aktivkohle

Das Rückhaltevermögen der Aktivkohlen hat einen sehr starken Einfluss auf die Effektivität des AKF. Je besser das Rückhaltevermögen ist, umso geringer ist die Restkonzentration an Kohlenwasserstoffen in der ausströmenden Luft.

Die Adsorption von Kohlenwasserstoffen in der Aktivkohle geschieht unter thermischer Energiefreisetzung, was eine Erwärmung des AKF während des Beladungsvorganges verursacht. Demgemäß erfordert die Desorption, das heißt die Rückführung des

Adsorptiv in die Gasphase, eine Energiezufuhr. Wasserdampffeuchte wirkt sich problematisch auf die Arbeitskapazität der Aktivkohle aus.

Aktivkohlen können aus Holzkohlen, Olivenkernen, oder Fruchtschalen hergestellt werden. Diese Produkte haben jedoch die Eigenschaft, bei SHED Tests HC Emissionen abzugeben (Blend-Emissionen). Synthetisch hergestellte Aktivkohlen haben wesentlich bessere Arbeitskapazität und Emissionseigenschaften, sind aber schwieriger zu desorbieren.

Folgende Merkmale sind für die Eigenschaften von Aktivkohle ausschlaggebend [49]:

- **Spezifische Oberfläche:** Je höher dieser Wert ist (Verhältnis Oberfläche zu Masse), desto zahlreicher sind die Poren und desto höher ist die Adsorptionskapazität.
- **Porenradienverteilung und Porenvolumen:** Beide Parameter sagen aus, wie viele Kohlenwasserstoffe innerhalb der Poren gespeichert werden können. Für das Speichern und Entfernen von Kohlenwasserstoffen sind Mesoporen am besten geeignet. Diese haben eine Größe von ca. 20 bis 500 Angström.
- **Ad- und Desorbierbarkeit:** Um diese Eigenschaften darzustellen wird mit standardisierten Prüfungen die aufgenommene bzw. desorbierte Menge eines Prüfgases ermittelt. An einem Beispiel wird das Ergebnis einer Prüfung zur Ermittlung der Butan-Arbeitskapazität nach ASTM 5228-29 anhand von vier Qualitätsklassen der Aktivkohlen wie folgt dargestellt:

Klasse I: 15,3 [g/100ml]

Klasse II: 11,5 [g/100ml]

Klasse III: 11 [g/100ml]

Klasse IV: 9,1 [g/100ml]

- **Oberflächeneigenschaften:** Dabei sind chemische Eigenschaften der Aktivkohleoberfläche von Wichtigkeit. Beispielsweise soll das Adsorbens möglichst hydrophob sein, um eine Störung des Adsorptionsprozesses durch Luftfeuchte zu vermeiden.
- **Härte:** Die Härte ist ausschlaggebend für den Abrieb der Aktivkohle. Abrieb ist zu vermeiden, da er die Qualität der Aktivkohle beeinträchtigt und der entstehende Staub Filtermaterialien verlegt. In Fahrzeug-Aktivkohlefiltern werden vorzugsweise Aktivkohlen in Form zylindrischer Pellet eingesetzt, die sich durch geringen Abrieb und stabile Filterschüttung auszeichnen.

Optimierungsmöglichkeiten

Fahrzeugseitige Optimierungsmaßnahmen:

- Verbesserung der Spülzyklen hinsichtlich Durchflussmenge , Anzahl und Dauer (Vollastregenerierung)
- Intelligente Spülzyklen in Abhängigkeit der Beladung der Aktivkohle (Sensorik zur Ermittlung der AKF Restkapazität erforderlich)
- Platzierung des AKF in Tanknähe, um die Länge der Entlüftungsleitungen zu reduzieren
- Schutzmaßnahmen gegen Wärmeeinwirkung auf den AKF wie beispielsweise Wärmeabschirmbleche im Motorraum oder in der Nähe der Abgasanlage

Tankseitige Optimierungsmaßnahmen:

- Verringerte Ausgasung aus der Tankentlüftung
- Drucktankkonzept bei Hybridfahrzeugen
- Integration des Aktivkohlefilters in die Tankblase (Systemintegration)

Optimierungsmaßnahmen am Aktivkohlefilter:

- Verwendung hochwertiger Aktivkohle
- Verwendung von hochwertigem Behälterwerkstoff
- Kammernbauweise mit Einsatz verschiedener Schüttungen (bis zu vier Kammern mit unterschiedlichen Aktivholen)
- Konstruktive Gestaltung des Aktivkohlefilters unter Berücksichtigung optimaler Strömungseigenschaften für die Be- und Entlüftung (Luftführungskanäle und Füllgutkammern), sowie Bauraumbedingungen im Fahrzeug. CFD-Strömungsberechnungen können bei der idealen Auslegung unterstützen.
- Einsatz von nachgeschalteten Filtern zur Reduktion der Bleed Emissionen (Honey Comb)
- Elektrische Spülluftbeheizungseinrichtungen integrieren

Konzept für Aktivkohlefilter mit beheizbarem Monolith

Es werden verschiedene Konzepte entwickelt, um für eine bessere Desorption der Kohlenwasserstoffe die Spülluft zu erhitzen. Am Beispiel eines Entwicklungskonzeptes wird der Aktivkohlefilter selbst als Heizelement genutzt, siehe Abbildung 27.

Statt granulatformiger Schüttung wird ein Aktivkohle-Monolith mit parallel verlaufenden Kanälen als elektrischer Heizwiderstand verwendet. An den beiden offenen Enden sind elektrisch leitfähige Kappen befestigt, die unter elektrischer Spannung aus dem Fahrzeugnetz eine Aufheizung des mit Kohlenwasserstoff beladenen Monolithen bewirken. Die Beheizung wird im Regenerierzyklus aktiviert und sorgt für eine optimierte Desorption der Aktivkohle. Damit wird die Arbeitskapazität und somit die Emissionseigenschaft des AFK verbessert. Weiters kann bei diesem Konzept der Spülluftwiderstand und damit der Spülluftmengenbedarf verringert werden.

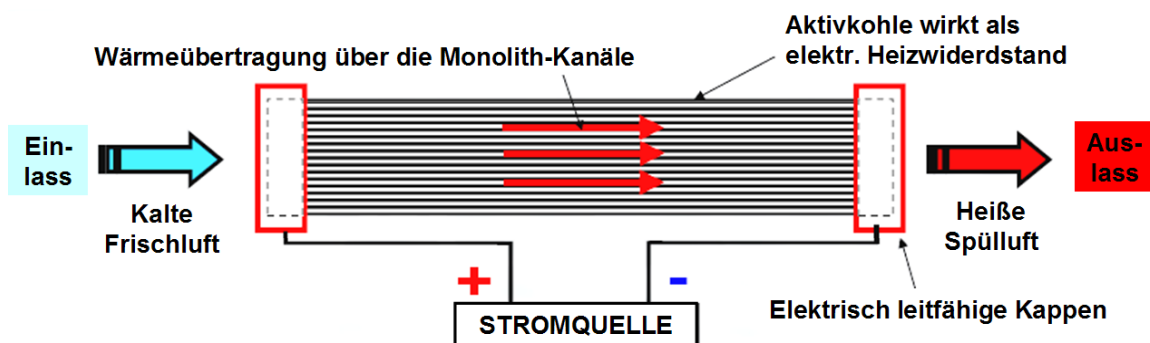


Abbildung 27: Schematische Darstellung einer AKF-Spülluftbeheizungseinrichtung [50]

Vorteile des Systems:

- optimierte Emissionswerte
- reduzierter Spülluftwiderstand

Nachteil des Systems:

- hoher Teilepreis
- zusätzlicher Stromverbrauch im Fahrzeug

2.3.5 Tankkonzepte für Hybridfahrzeuge

Emissionsproblematik für Kraftstoffsysteme in Hybridfahrzeugen

Bei Hybridfahrzeugen mit Benzinmotoren, in denen es zu Wechselbetrieb zwischen Verbrennungsmotor und Elektromotor kommt, gelten besondere Randbedingungen für die Kraftstoffversorgungsanlage. Durch die Abschaltung des Verbrennungsmotors während des Fahrbetriebs wird eine Regenerierung der Aktivkohle verhindert. Da die Kraftstoffausgasung unverändert bleibt, ist die Arbeitskapazität des AKF überfordert und es kann zum Durchbruch der Aktivkohle kommen.

Hybridfahrzeuge unterliegen den gesetzlichen Vorschriften für Verdunstungsemissionen in gleicher Form wie konventionelle Fahrzeuge. Um die geforderten Grenzwerte nicht zu überschreiten sind somit bei der Auslegung des Kraftstoffsystems spezielle Maßnahmen erforderlich. Eine Ausnahme gilt dabei für Hybridfahrzeuge, deren Antriebskonzept einen durchgängigen Betrieb des Verbrennungsmotors vorsieht. Die Regenerierung des AKF ist dadurch wie in konventionellen Systemen möglich. Auch Hybridfahrzeuge mit Dieselmotoren sind von dieser Problematik nicht betroffen. Es werden wie folgt zwei Konzepte für die Anpassung des Kraftstoffsystems an die Anforderungen in Hybridfahrzeugen beschrieben.

Drucktank-Konzept

Bei dem Drucktankkonzept wird eine Überlastung des AKF während dem Fahrbetrieb verhindert, in dem das Entlüftungssystem in den Standphasen des Verbrennungsmotors gezielt verschlossen wird. Die ausgasenden Kraftstoffdämpfe lassen den Druck im Entlüftungssystem ansteigen und es werden Betriebsdrücke von bis zu 350 mbar erreicht. Um eine ausreichende Stabilität der Tankblase für diese Druckverhältnisse zu erhalten, werden Metalltanks verwendet und Stahlsorten mit höherer Festigkeit gewählt. Weiters wird die Wandstärke des Materials höher dimensioniert als bei herkömmlichen Systemen, entsprechende Versteifungssicken in die Blechform eingebracht und Verstärkungsstreben integriert. Mit diesen Maßnahmen kann das Tankvolumen der jeweiligen Hybrid-Modelle in vergleichbarer Höhe wie bei den Standardvarianten erreicht werden. Drucktankkonzepte kommen bereits in mehreren Fahrzeugmodellen serienmäßig zum Einsatz.

Konzept mit flexibler Kraftstoffblase im Tank

Das Konzept eines japanischen Herstellers arbeitet mit einer in den Tank integrierten flexiblen Kraftstoffblase, siehe Abbildung 28. Die Blase ist nachgiebig und verändert ihre Größe je nach Füllvolumen. Sie ist mit dem Tankeinfüllrohr und einer Kraftstoffförderleitung verbunden, sowie über ein Roll-Over Ventil mit einer Entlüftungsleitung an einen separat im Tank befindlichen Behälter angeschlossen. In den separaten Behälter sind die Kraftstoffpumpe und der Füllstandsensor integriert. Der Hohlraum zwischen Blase und Tankwand ist mit dem Aktivkohlefilter verbunden und bildet das Entlüftungsvolumen.

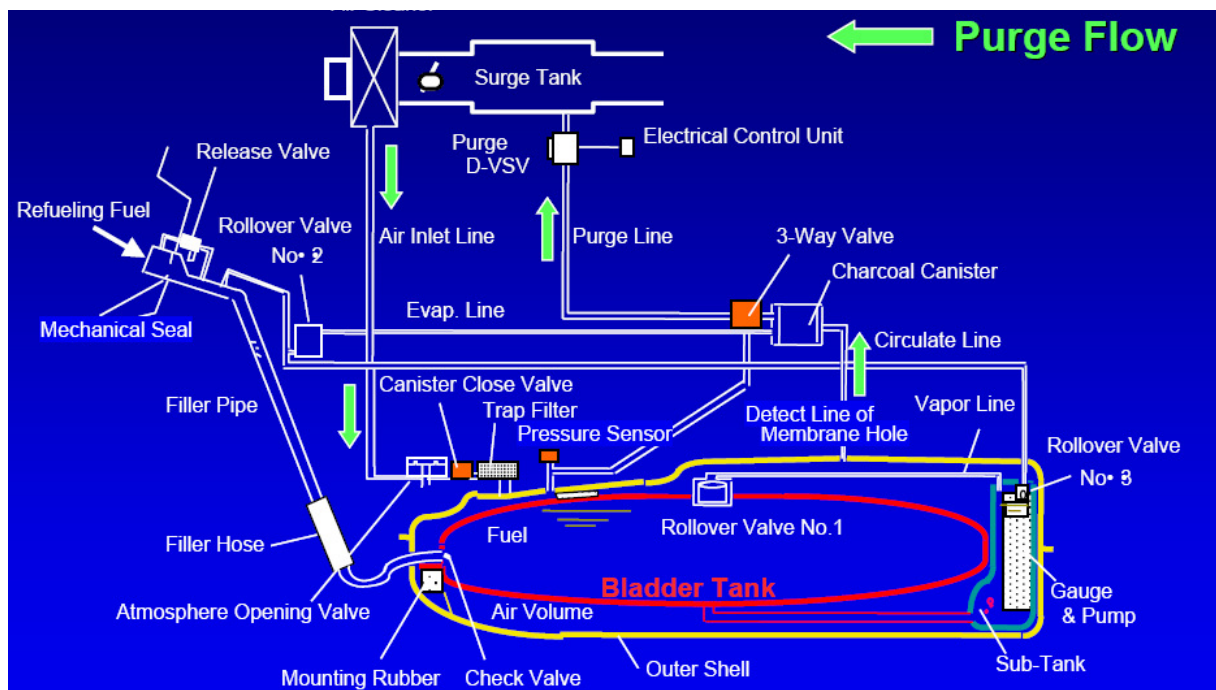


Abbildung 28: Tankkonzept mit integrierter Kraftstoffblase [51]

Auf Grund der baulichen Trennung der flüssigen Kraftstoffphase mit dem Entlüftungsvolumen wird wesentlich weniger Luft mit Kraftstoff angereichert als es bei konventionellen Tanksystemen der Fall ist. Laut Angaben des Herstellers kann dadurch die Menge an kraftstoffhaltigen Gasen in bestimmten Testzyklen um bis zu 90% reduziert werden. Die bei Hybridfahrzeugen auf bis zu einem Sechstel verringerte Spülluftkapazität reicht dabei für die Regenerierung des Aktivkohlefilters aus.

2.3.6 Maßnahmen bei Leitungssystemen

In den nachfolgenden Kapiteln werden konstruktive Möglichkeiten beschrieben, um die Emissionseigenschaften von Leitungssystemen zu verbessern.

Die angeführte Übersicht in Abbildung 29 gliedert die Leitungskomponenten in verschiedene Gruppen.

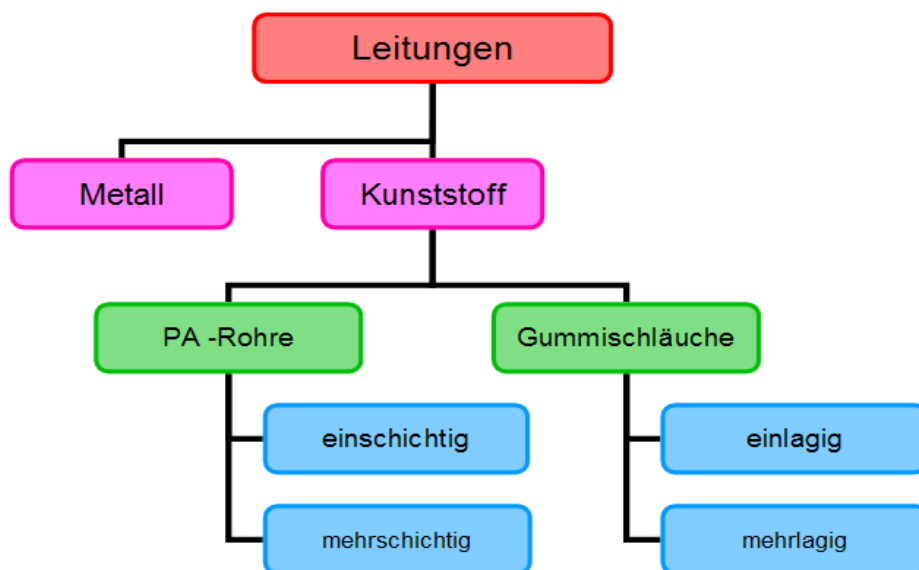


Abbildung 29: Gliederung von Kraftstoffleitungen nach Materialien

2.3.6.1 Kraftstoffrohre

Metallrohre

Metallrohre zeichnen sich durch hohe Festigkeit und, wie bereits bei Metalltanks beschrieben, durch die ausgezeichnete Permeationssperwirkung aus. Metallrohre aus Stahl oder Aluminium werden zum Schutz gegen Beschädigung (Steinschlag) und Korrosion lackiert oder mit Kunststoff (bevorzugt PA) beschichtet.

Gewicht, Preis, Starrheit und Verarbeitungsmöglichkeiten der Metallrohre bestimmen den Umfang ihrer Anwendung.

Kunststoffrohre

Bei Kunststoffrohren haben sich neben den bekannten einschichtigen Rohren aus Polyamid weitgehend mehrlagige Kunststoffleitungen mit bis zu 5 Schichten durchgesetzt. Die so genannten Multilayer-Rohre kamen hauptsächlich zur Reduktion von HC-Emissionen zum Einsatz. Durch unterschiedliche Materialkombinationen von Träger- und Sperrschichtmaterialien lassen sich Rohreigenschaften entsprechend der verwendeten Materialien für verschiedenste Anforderungen anpassen.

Folgende Arten von Schichten sind am Markt bekannt und verbreitet:

- Trägerschichten (innen/außen) für mechanische Eigenschaften (PA)
- Permeationssperrschichten (ETFE, EVOH, PA, PBT, Fluorpolymere FPM, etc.)
- Kraftstoffbeständige Schichten für biologische Kraftstoffe (FPM)
- Elektrisch leitfähige Schichten
- Öl- und temperaturbeständige Außenschichten (Anwendungen im Motorraum)

In der Abbildung 30 ist eine 4-schichtige Konstruktion eines Kraftstoffrohres mit den einzelnen Schichten dargestellt und dazu im Vergleich die Wirksamkeit einiger Sperrschichtmaterialien hinsichtlich ihrer Emissionsraten anhand der relativen Permeation gezeigt. Neben glatten Rohren gibt es die mehrschichtigen Aufbauten auch als Wellrohre oder in kombinierter Bauweise.

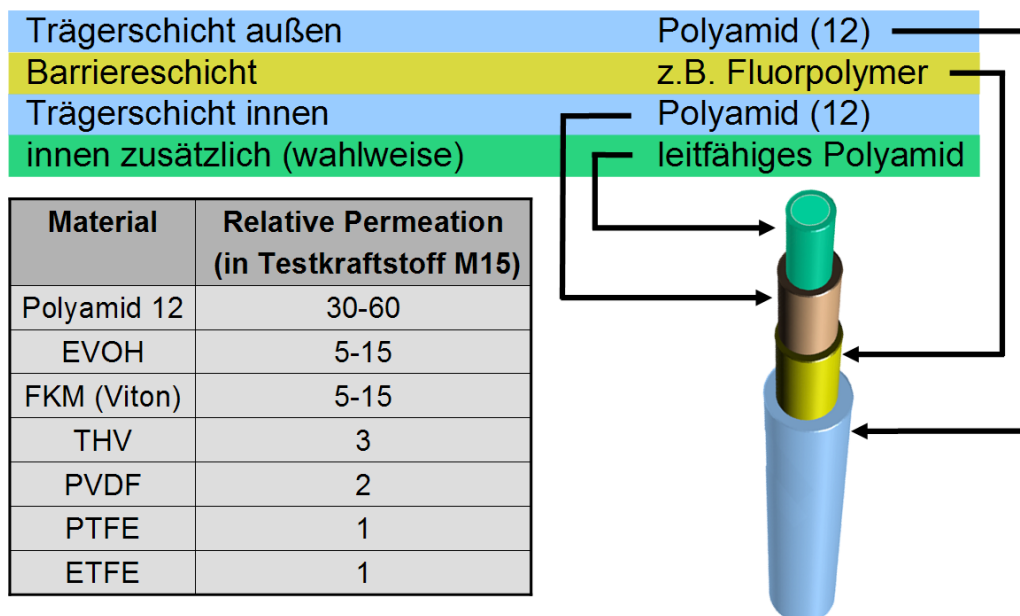


Abbildung 30: Beispieldarstellung für mehrschichtige Kunststoffrohre [52]

2.3.6.2 Kraftstoffschläuche

Kraftstoffschläuche werden in der Regel aus elastomeren Werkstoffen aufgebaut. Gummi unterscheidet sich von thermoplastischen Polymeren dadurch, dass die Molekülketten chemisch weitmaschig miteinander verbunden sind. Diese Vernetzung, der chemische Vorgang selbst wird auch als Vulkanisation bezeichnet, bewirkt die einzigartige Elastizität des Gummis, die allerdings bedingt, dass der Werkstoff nicht kristallin, sondern amorph aufgebaut ist. Die infolgedessen geringere Moleküldichte gegenüber den korrespondierenden kristallinen Feststoffen hat eine grundsätzlich höhere Chemikaliendurchlässigkeit zur Folge, was die Permeationsraten dieser Materialien anhebt, siehe Abbildung 31.

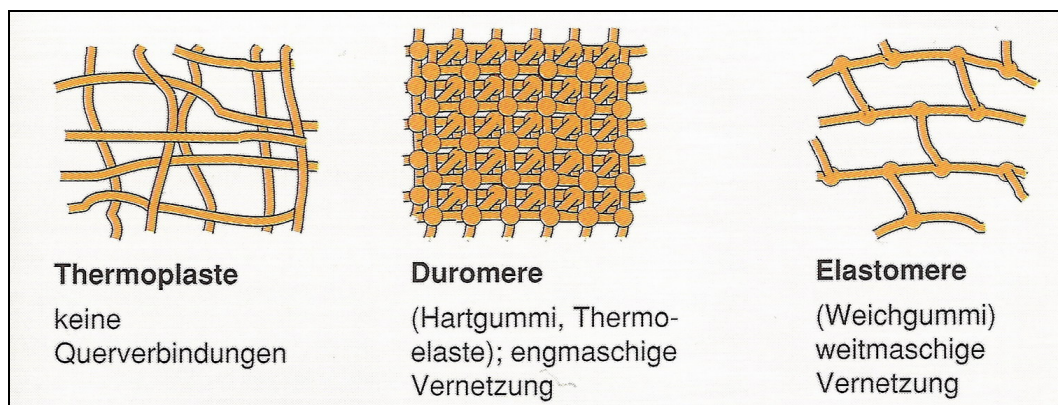


Abbildung 31: Struktureller Aufbau von Thermoplasten und Elastomeren [53]

Der klassische Werkstoff für die medienführende Seite (Schlauchseele) ist **NBR (Acrylnitril-Butadien-Rubber)**. Die Polarität dieses Kautschuks wird über das Verhältnis von Acrylnitril (polar) zu Butadien (unpolar) eingestellt. Für die Anwendung von konventionellem Diesel, der sich durch relativ große Moleküle auszeichnet, sind Typen mittlerer Polarität ausreichend, während für Ottokraftstoffe bereits eine etwas stärker polare Auslegung gewählt werden muss. Bei Ottokraftstoffen, denen Alkohol zugesetzt wird, muss der Acrylnitril-Anteil nochmals deutlich angehoben werden.

Wenn die geforderten Permeationsraten durch NBR-Schlauchseelen nicht mehr realisierbar sind, kommen vor allem emissionsbeständige Fluorkautschuke (**FPM - Fluorpolymere**) zum Einsatz. Neben der hohen Polarität von FPM ist vor allem ihre hohe Moleküldichte für die geringe Durchlässigkeit verantwortlich. Diese lässt sich durch

die Verwendung von teilkristallinen Fluorthermoplasten nochmals steigern, deren Schichtstärke in modernen Kraftstoffschläuchen kaum größer ist als die einer normalen Haushaltsfolie. [54]

Bei Schläuchen haben sich mehrschichtige Bauweisen durchgesetzt und gehören inzwischen zum Standard. Wie Kraftstoffrohre, sind auch Multilayer-Schläuche durch die Verwendung unterschiedlicher Materialien an spezifische Anforderungen anpassbar (Emissionen, Temperatur, Kosten).

Unter diesen Gesichtspunkten wurden Schläuche mit bis zu 4 Lagen entwickelt. Neben technischen Vorteilen konnte durch den Einsatz der hochwertigen Barrierschichten der Anteil an preiswerten Materialien erhöht und somit der Kostenerhöhung entgegengewirkt werden. Der 4-Lagen-Schlauch entspricht den aktuellen Vorschriften der verschiedenen Automobilproduzenten, ist jedoch immer noch wesentlich teurer als der klassische NBR/CR-Schlauch. Im Diagramm 6 werden die Permeationsraten verschiedener Schlauchvarianten im Anlieferzustand gegenübergestellt.

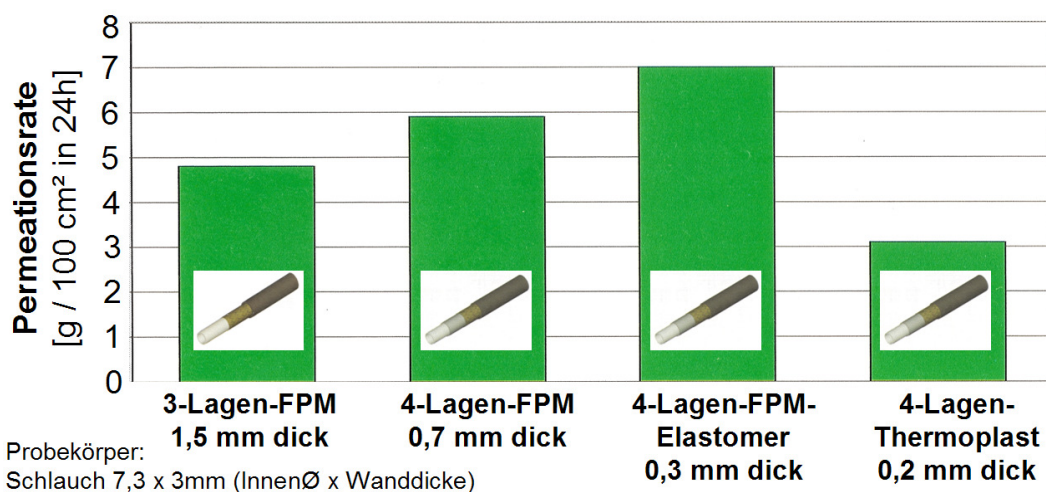


Diagramm 6: Diffusionsvergleich nach DIN 73379 [55]

Durch Alterungseinwirkung unterscheiden sich die unterschiedlichen Schlauchvarianten umso stärker. Dies zeigt das Diagramm 7 anhand der relativen Permeation.

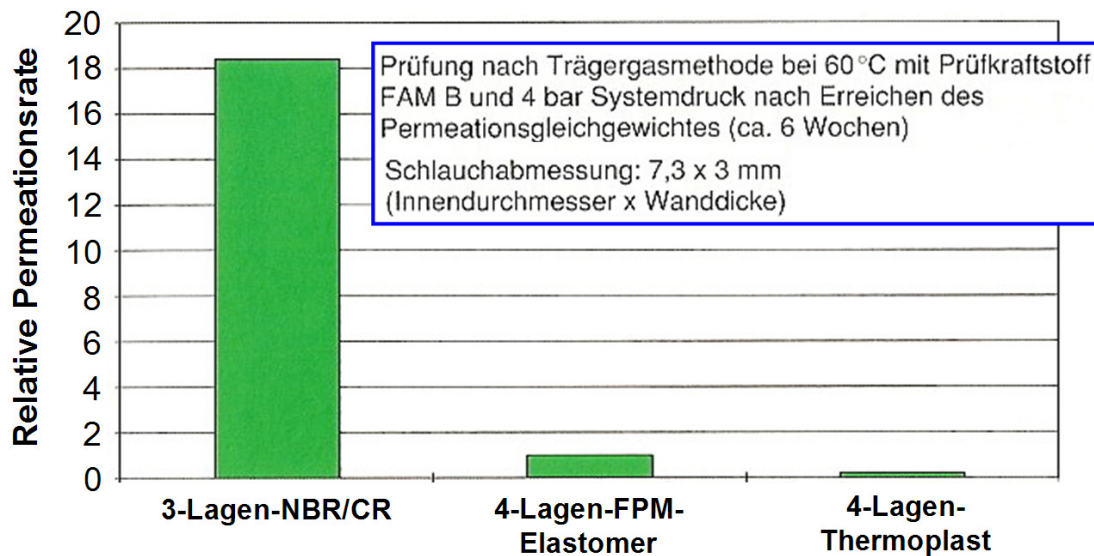


Diagramm 7: Permeationsvergleich von Kraftstoffschläuchen mit Alterungseinfluss [56]

Verschiedene Lagen eines Schlauchaufbaus sind in der Abbildung 32 dargestellt und deren Materialien in weiterer Folge beschrieben.

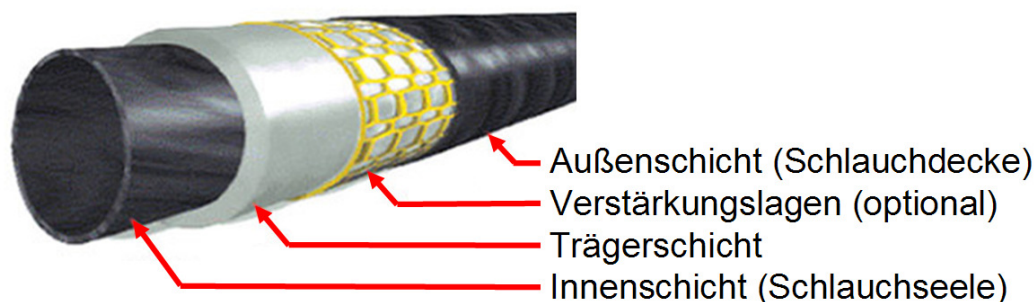


Abbildung 32: Aufbau eines vierlagigen Kraftstoffschlauchs

Außenlage:	NBR /-PVC, CSM, ECO, AEM (Temp.- u. Chemikalienbeständigkeit)
Verstärkung:	ist optional, Textilien, Kunststoff- oder Aramidfasern (mechanische Verstärkung, erhöht Druckbeständigkeit)
Trägerschicht:	NBR, ECO (mechanische Stabilität)
Innenschicht:	Barrierschichten FKM, THV, weitere Fluorpolymere (Permeationsperrwirkung)

Die Schlauchaußenschichten (Schlauchdecken) werden allgemein entsprechend den Temperaturanforderungen je nach Anwendungsfall (Motorraum, Unterboden) klassifiziert. Je temperaturbeständiger ein Werkstoff ist, desto teurer ist er.

Die Permeationssperrschicht liegt idealerweise an der Innenseite des Schlauches, welche in verbauter Lage direkt an der Stutzendichtfläche aufliegt. Ungewünschte Permeation durch eine dazwischen liegende HC-durchlässige Schicht wird dadurch verhindert.

Mehrlagenschläuche gibt es durch Verwendung einer elektrisch leitfähigen Schicht an der Innenseite auch in elektrostatisch ableitender Ausführung.

2.3.6.3 Verbindungsstellen im Kraftstoffsystem

Als Verbindungsstellen in Kraftstoffsystemen werden die Stellen bezeichnet, an denen sämtliche Kraftstoff- oder Entlüftungsleitungen mit Tank oder Motorbauteilen gekoppelt werden. Neben grundlegenden Anforderungen wie Dichtigkeit, Temperaturbeständigkeit, Montagetauglichkeit und Kosten, sind durch steigende Marktanforderungen auch Emissionbeständigkeit und Materialbeständigkeit bei biologischen Kraftstoffen zu berücksichtigen. Dieses Kapitel behandelt hauptsächlich emissionsrelevante Eigenschaften und Lösungen welche sich am Markt befinden oder als Entwicklungsstände einen Ausblick auf künftige Technologien geben.

Konstruktive Hinweise

Bei der Gestaltung von emissionsoptimierten Dichtflächen an Kupplungsstellen wie Stutzen, Serviceflansche, Tankdeckeln, etc., ist darauf zu achten, dass die Auflagefläche an den abzudichtenden Bauteilen frei von Graten oder Riefen ist, und ausreichende Ebenheit bietet. Die Glattheit und Ebenheit der Dichtfläche sorgt für eine optimale Auflage der Dichtkomponenten und kann somit höheren Emissionsanforderungen gerecht werden. An Spritzgussbauteilen aus Kunststoff können Entformungsgrate durch bedarfsgerechte Auslegung und Herstellung vermieden werden.

Bei Schlauchstutzen zur Verbindung des KKB mit dem Tankeinfüllrohr ergibt sich im Spritzgussherstellungsprozess ein Entformungsgrat an der Werkzeugtrennung entlang

der Schlauchauflagefläche. Die einfache Handhabung des Bauteils erlaubt eine mechanische Nachbearbeitung, mit welcher die Stutzendichtfläche nachträglich abgedreht wird, um den Grat zu entfernen.

Eine andere Lösungsmöglichkeit für die Vermeidung von Entformungsgraten bei emissionsoptimierten Kupplungsstellen (z.B. bei größeren Komponenten oder welchen mit komplizierter Geometrie) wird an dem Dichtflächenbereich im Werkzeug ein Schieber vorgesehen, der im Herstellungsprozess durch Zwangsentformung in axialer Richtung einen störenden Grat vermeidet.

Am Beispiel eines Tankeinfüllrohrkopfes wird hier auch in Zusammenhang mit der vorgeschriebenen elektrostatischen Ableitung des Einfüllkopfs an die beim Befüllungsvorgang eingehängte Zapfpistole ein tiefgezogener Verschlussring aus Metall auf dem Einfüllkopfssockel montiert. An der Dichtfläche des Verschlussrings zum Tankverschlussdeckel wird hierbei ein Grat schon durch den Herstellungsprozess vermieden, jedoch ist darauf zu achten, dass die Dichtfläche in ausreichender Ebenheit ausgeführt ist.

Für Steckkupplungen im Kraftstoffbereich aus Kunststoffmaterial werden im Allgemeinen die Werkstoffe PA12 oder PA11 mit einem Anteil von jeweils 23% oder 30% Glasfaser verwendet. Im Rahmen diverser Messungen konnte ein Zusammenhang zwischen den Permeationseigenschaften und dem Glasfaseranteil im verwendeten Werkstoff festgestellt werden. Je höher der Glasfaseranteil jeweils gewählt wird, desto geringer sind die sich ergebenden Permeationswerte. Das Diagramm 8 zeigt die normierte Permeationsrate in Abhängigkeit vom Glasfaseranteil im Werkstoff für PA12.

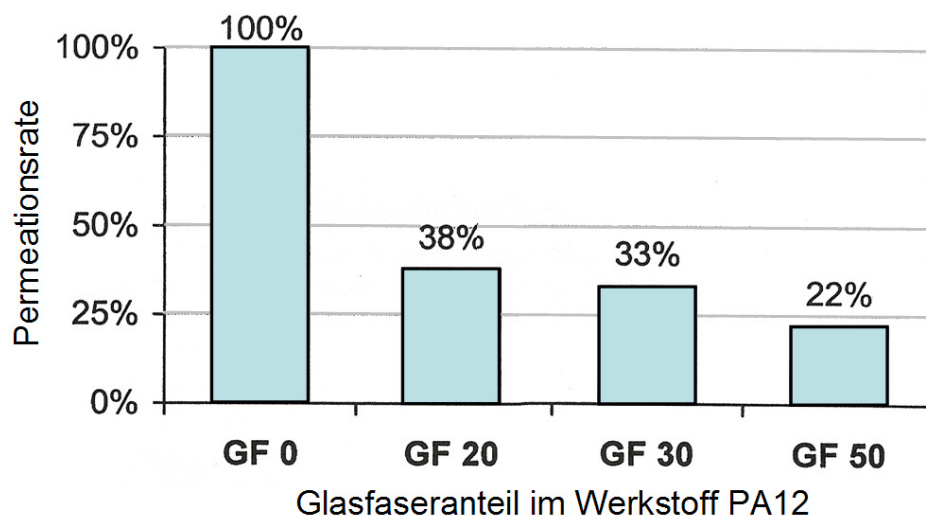


Diagramm 8: Normierte Permeationsrate als Funktion des Glasfaseranteils für PA12 [57]

Bei der Wahl von Dichtungswerkstoffen sind ähnlich wie bei Kraftstoffschläuchen in permeationsoptimierten Ausführungen auch hier fluorhaltige Materialien wie FPM den herkömmlichen Elastomerwerkstoffen wie NBR vorzuziehen.

Leitungen auf Profile aufgeschossen

Bei Anschlussstellen von Kunststoffleitungen, welche zu Montage- oder Reperaturzwecken nicht mehr getrennt werden müssen, gibt es die einfache Variante, die Leitungsenden auf Profile aufzuschießen. Die Form der Anschlussnippel wird dafür als Tannenbaumprofil ausgeführt, welches den Endbereich der Leitung bei der Montage aufweitet und verpresst, um ausreichenden Halt gegen Abziehen sicherzustellen. Aufgeschossene Leitungen sind auch bei Multilayer-Rohren möglich und können auch mit einer zusätzlichen Ringdichtung am Nippel als emissionsreduzierte Variante eingesetzt werden. Die Abbildung 33 zeigt ein Beispiel einer aufgeschossenen Leitung auf ein Entlüftungsventil.

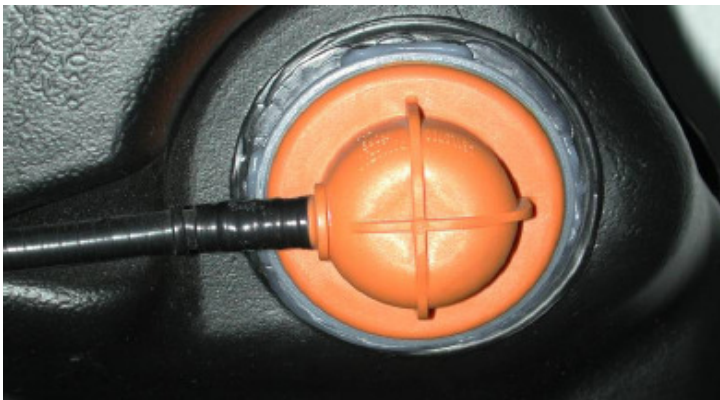


Abbildung 33: Beispiel einer aufgeschossenen Kunststoffleitung

Schnellkupplungen

Schnellkupplungen, wie in Abbildung 34 dargestellt, dienen als schnell montier- und demontierbare Leitungsverbindungen und sind in verschiedensten Ausführungen verfügbar. Sie sind kombinierbar zwischen Metall- oder Kunststoffleitungen und können durch den kombinierten Einsatz von mehreren Ringdichtungen an der Koppelstelle hinsichtlich Emissionsschutz und mechanischer Beständigkeit optimiert werden. Ein Beispiel dafür ist die Kombination aus einem HNBR-Dichtring auf der medienführenden Seite und einem FPM-Dichtring an der Schnittstelle zur Umgebung.

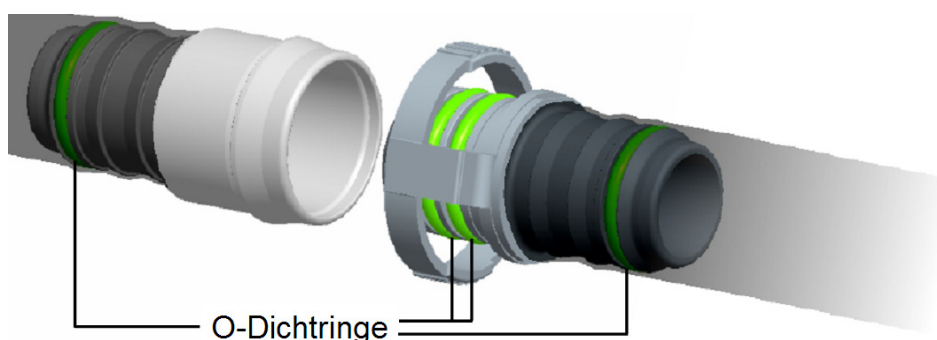


Abbildung 34: Schnellkupplung mit mehreren Dichtungen [58]

Schlauch-Schelle Standardverbindung

Die Schlauch-Schelle Standardverbindung kommt bei Leitungssystemen und als Verbindung zwischen Tank und Tankeinfüllrohr zur Anwendung. Die Abbildung 35 zeigt den schematischen Aufbau einer Schlauch-Schelle Standardverbindung.

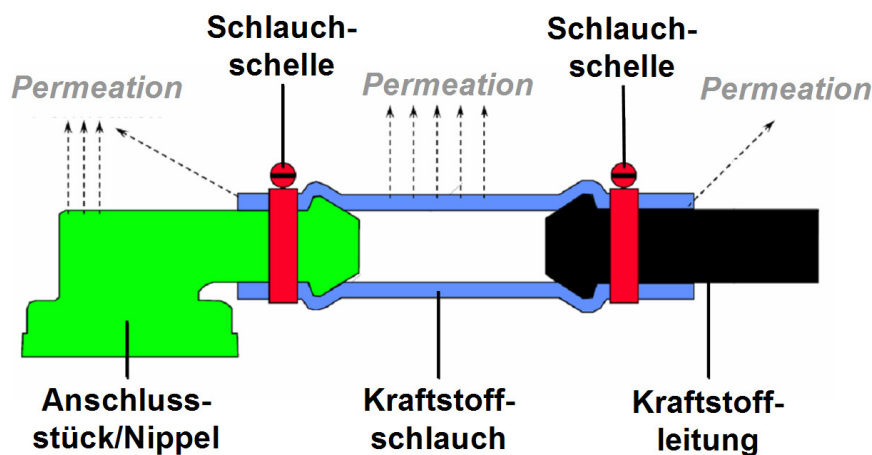


Abbildung 35: Schlauch-Schelle Standardverbindung [59]

Bei emissionsoptimierten Anwendungen werden mehrlagige Kraftstoffschläuche mit Barrierschichten verwendet. Die Schlauchstutzen oder Anschlussnippel sind mit einer entsprechenden Ringwulst auszuführen um eine ausreichend stabile Verbindung unter Einhaltung vorgeschriebener Abzugskräfte des Schlauches sicherzustellen.

Die Befestigung des Schlauches auf dem Anschlussstück geschieht über verkrimpte oder verschraubte Schlauchschellen. In vielen Anwendungen werden Schellen mit Federvorspannung verwendet, damit ist unter Einflüssen wie Wärmedehnung und Quellung eine gleichmäßige Spannkraft der verschraubten Bauteile gegeben.

Durch die Vorspannung der Schlauchschellen können hohe Spannkraften auf die Schlauchstutzen wirken.

Bei Metallstutzen in Stahltanksystemen sind die mechanischen Eigenschaften meistens ausreichend, bei Kunststoffanwendungen müssen an den Schlauchstutzen in vielen Fällen Verstärkungsmaßnahmen gesetzt werden. Eine gängige Lösung ist die Integration von metallischen Verstärkungshülsen.

Eine andere Lösungsmöglichkeit ist der Einsatz von 2K-Bauteilen. Am folgenden, in der Abbildung 36 dargestellten Beispiel eines Leitungsherstellers wird der tragende Bereich eines Schlauchstutzens aus stabilem PA ausgeführt (orange) und die Schnittstelle zum Kunststoffbehälter aus schweißbarem HDPE (weiß).

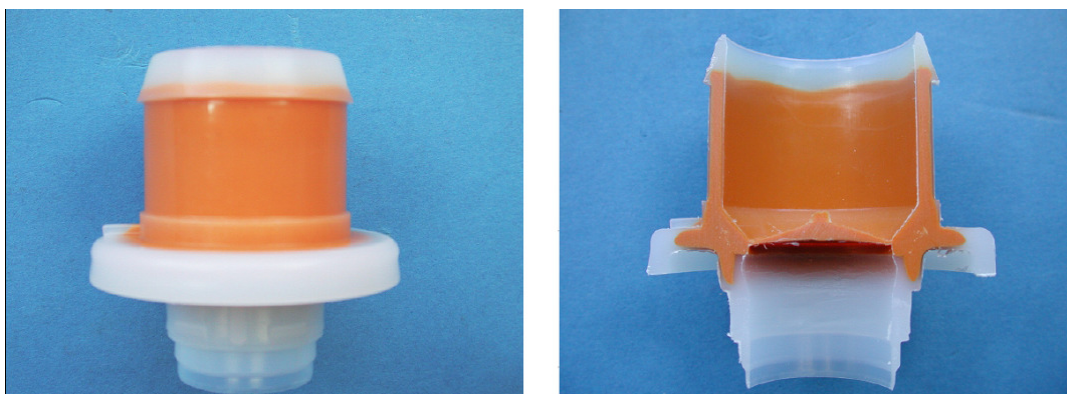


Abbildung 36: 2K-Schlauchstutzen [60]

Wie bei Kunststofftanks gibt es auch bei Schlauchstutzen Ausführungen mit Materialkombinationen.

Am folgenden Beispiel wird eine PZEV- taugliche Konstruktion eines Herstellers mit elektrostatisch ableitender Eigenschaft gezeigt, siehe Abbildung 37.

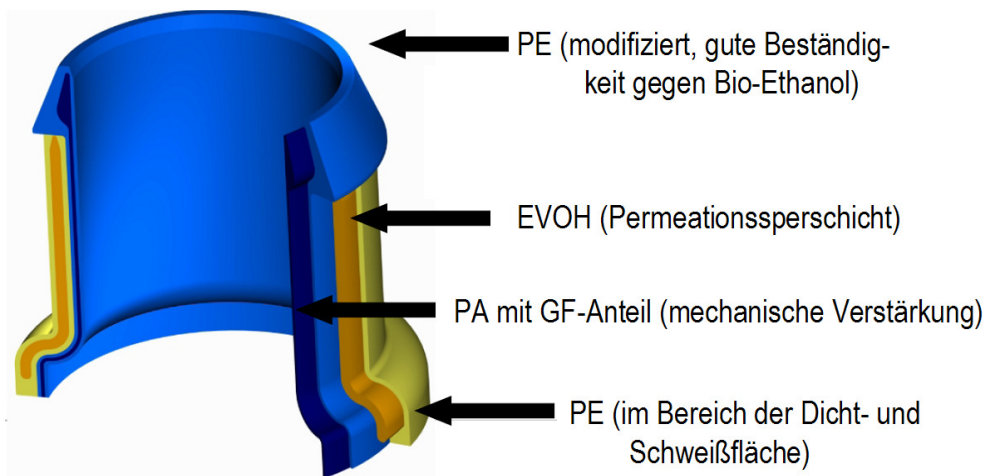


Abbildung 37: Multilayer-Schlauchstutzen [61]

Emissionsoptimierte Schnellverschlüsse für Tankeinfüllrohre

Unter der Berücksichtigung von vereinfachten Montageoperationen gibt es Entwicklungen für Schnellverschlussysteme zur Anbindung von Tankeinfüllrohren an die Tankblase. Um hohen Emissionsstandards und Anforderungen hinsichtlich Kraftstoffbeständigkeit zu entsprechen, werden zwei Dichtungen auf der radialen Dichtfläche positioniert. An einem Beispiel einer solchen konstruktiven Auslegung werden anhand der Abbildung 38 die Lösungen für Elastomerschläuche und Stahlrohre dargestellt.

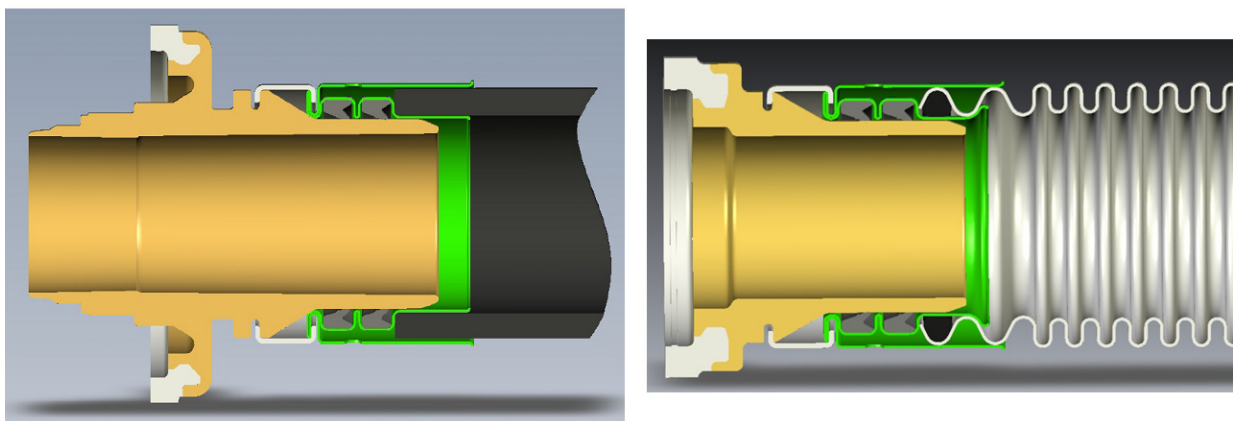


Abbildung 38: Tankstutzenschnellkupplungssystem für Kunststofftanks [62]

Schraublösung

Eine weitere Entwicklung eines Kupplungssystems für Stahltankanwendungen unter Einhaltung höchster Emissionsanforderungen ist in der Abbildung 39 dargestellt. Es handelt sich um eine lösbare Verbindung zwischen einem Tankstutzen (Pos.2) und Tankeinfüllrohr (Pos.1), welche überlappend ausgeführt ist und mit einer O-Ringdichtung (Pos.5) in axialer Richtung abgedichtet wird. Die mechanische Verbindung entsteht durch die Verschraubung einer Überwurfmutter (Pos.4) an einem auf Rohr 2 aufgespritzten Kunststoffgewindeteil (Pos.3). Durch das Herandrücken des Rohres 1 über einen Ringwulst (Pos.1b) wird die O-Ringdichtung an die Sitzflächen (Pos.1c und 2a) der beiden Rohre gepresst.

Der Vorteil dieser Lösung begründet sich durch die sehr kleine Querschnittsfläche der verbauten Elastomerdichtung. An diesem verkleinerten Emissionsfenster werden entsprechend weniger Kohlenwasserstoffe emittiert.

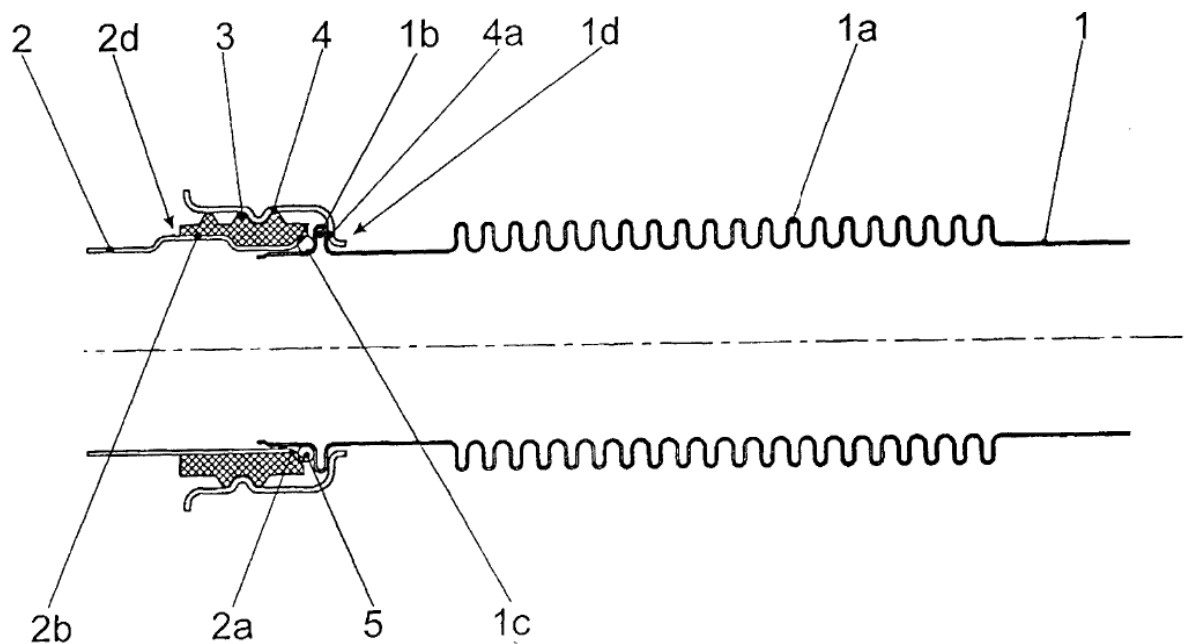


Abbildung 39: Emissionsoptimierte Schraubverbindung zw. Tank und Einfüllrohr [63]

Lösung mit Klemmschellen

Eine weitere emissionsoptimierte Lösungsvariante für die Verbindung zwischen Tankstutzen (Pos.1) und Einfüllrohr (Pos.4) mit O-Ringdichtungen für Metallanwendungen ist in der Abbildung 40 zu sehen.

Die wesentlichen Merkmale dieser Lösung sind einerseits der Dichtbereich mit zwei O-Dichtringen, welche durch die überlappende Bauweise der beiden Rohre im Dichtungs Bereich die O-Ringe nur in radialer Richtung zusammendrücken um eine Überpressung zu vermeiden. Andererseits kann die Wirkung der beiden Dichtungen durch den Einsatz von unterschiedlichen Materialien verbessert werden. Zum Beispiel kann die erste Dichtung mit kraftstoffbeständigen und die zweite Dichtung mit emissionsmindernden Eigenschaften versehen werden.

Ein weiterer Gesichtspunkt ist die mechanische Verbindung der zwei Rohre. Hierbei wird die schräge Flanke an der Ringwulst des Tankeinfüllrohres (Pos.7) gegen einen Konus im Endbereich des Tankstutzens (Pos.8) gedrückt. Über die beiden aneinanderliegenden Rohrbereiche wird eine zweiteilige Metallschelle montiert (Pos.20), indem die radial abstehenden Laschen an den jeweiligen Enden übereinandergefaltet werden. Der Zusammenbau wird somit erleichtert, da die Zusammenpresskraft der Schellen nicht begrenzt werden braucht, jedoch ist ein spezifisches Montagewerkzeug erforderlich.

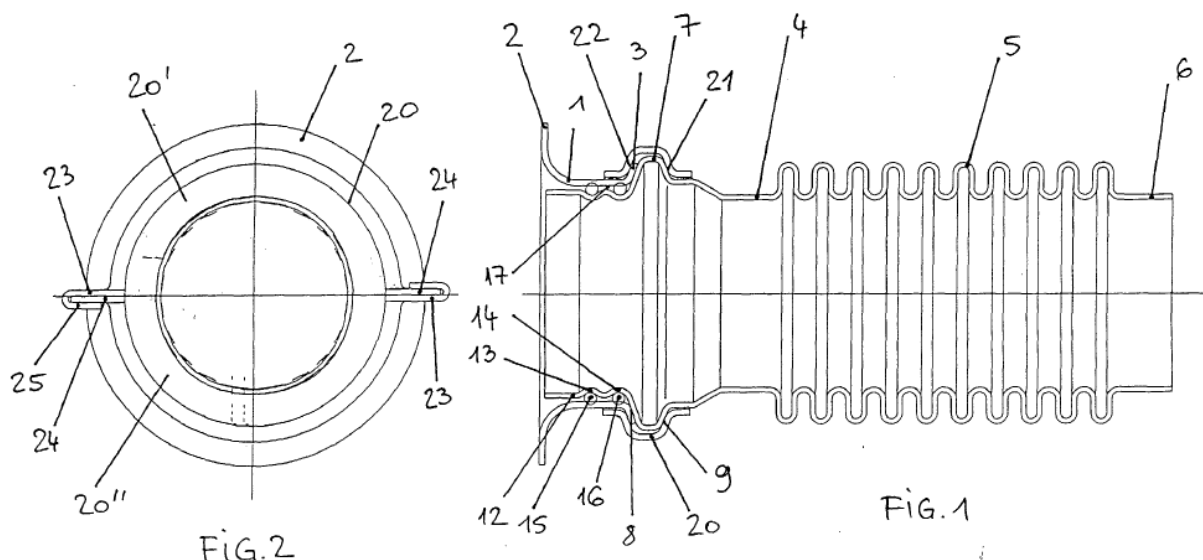


Abbildung 40: Emissionsoptimierte Schellenverbindung zw. Tank und Einfüllrohr [64]

2.4 Zusammenfassung und Ausblick

Resümee zu gesetzlichen Anforderungen

Die Anforderungen an Verdunstungsemissionen aus gesetzlichen Vorschriften liegen mit heutigem Stand durch massive Eingrenzungen während den vergangenen 15 Jahren auf hohem Niveau.

Die mit Abstand höchsten Anforderungen gelten in Nordamerika in Form der CARB Vorschriften. Dadurch stellt dieser Markt die größte Herausforderung für die Entwicklung von emissionsreduzierten Kraftstoffsystemen dar. Im Diagramm 9 ist die starke Reduktion der Grenzwerte seit dem Jahr 1995 anhand des dreitägigen Aufheiztestes (3-Day Diurnal Test) mit Werten für Fahrzeuge und Anteile des Kraftstoffsystem in [g HC/Tag] dargestellt.

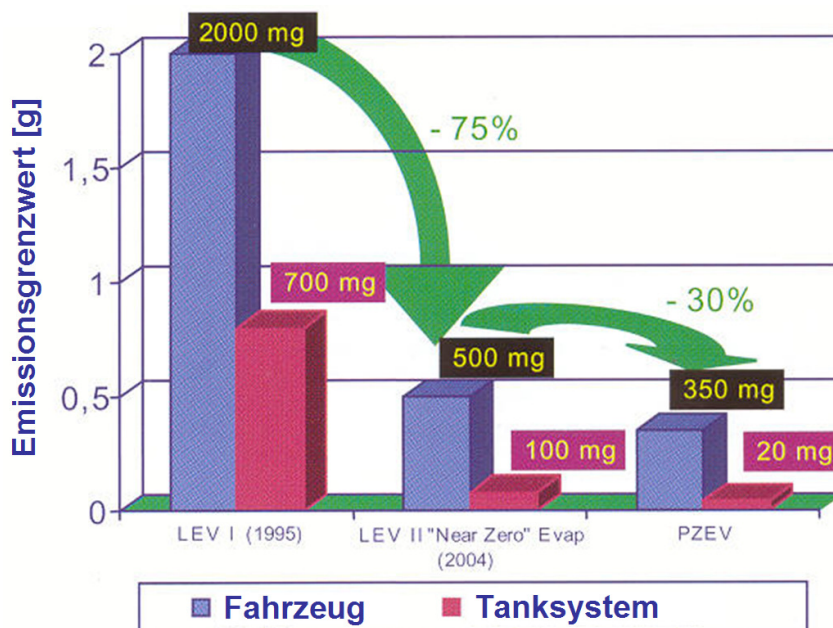


Diagramm 9: Entwicklung der Emissionsvorschriften in US Kalifornien [65]

Europäische Vorschriften und Vorschriften in anderen Märkten liegen mit ihren Anforderungen unter jenen der amerikanischen Gesetzgebung. Dennoch gab es schrittweise Überarbeitungen, womit auch hier ein technologischer Fortschritt im Bereich der kraftstoffführenden Baugruppen erforderlich ist.

Prinzipiell ist an der heutigen Maximalanforderung (ZEV – Mandat in Kalifornien) keine wesentliche Verschärfung mehr zu erwarten, da mit den derzeit geforderten Emissionswerten die Grenze der messtechnisch reproduzierbaren Nachweisbarkeit erreicht wird. Eine zusätzliche Erhöhung der Anforderungen würde eine flächendeckende Umstellung auf Elektro- oder Wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen erfordern, oder andere Antriebsarten voraussetzen, welche in jedem Fall eine Verwendung von Ottokraftstoff ausschließen. Dieses Thema wird zwar diskutiert und ist in Kalifornien für einen kleinen Marktflottenanteil bereits vorgeschrieben, jedoch sind marktabdeckende Forderungen mit solch einer Tragweite für die nächsten Jahre nicht absehbar.

Im Sinne der weiterführenden Emissionsreduzierung ist jedoch langfristig ein Trend zu erwarten, in welchem niedrige Anforderungen an die in Amerika bereits gültigen PZEV-Forderungen angenähert werden. Die Anhebung des Marktflottenanteils von ZEV in amerikanischen Staaten, sowie die weitere Reduktion von Grenzwerten in restlichen Märkten erscheinen unter dem Gesichtspunkt des Umweltschutzes und der Reduktion von Luftverschmutzung langfristig als wahrscheinlich.

Zusammenfassung der technischen Maßnahmen

Der technologische Stand bei Kraftstoffsystemen ist entsprechend der gültigen Gesetzgebung bereits weit fortgeschritten. Es wurde mit innovativen Konzepten eine Vielzahl an konstruktiven Potentialen umgesetzt. Auch die Technologie bei Werkstoffen wurde zur Reduzierung von Permeationsraten stark verbessert.

Bei Tankherstellungsverfahren geht die Tendenz zu Kraftstoffbehältern aus Kunststoffmaterial. Hinsichtlich Reduktion von Permeation ist dabei in jedem Fall der Einsatz von Multilayermaterial bevorzugt. Die Verwendung von Monolayer - Werkstoffen macht Kraftstoffbehälter nur begrenzt für aktuelle Emissionsanforderungen tauglich und wird zunehmend durch Einsatz von Multilayermaterial abgelöst.

Modernisierte Verfahren wie zum Beispiel das „Ship-in-a-bottle“-Verfahren oder weiterentwickelte Varianten nutzen den Vorteil von Systemintegration sowie optimierten Prozessen mit kombinierten Arbeitsschritten und können trotz überschaubarer Kosten inzwischen höchsten Emissionsanforderungen wie PZEV Vorschriften in Kalifornien gerecht werden.

Stahltankausführungen haben beste technische Voraussetzungen für Emissionsreduzierung und werden bereits als qualitativ hochwertige Lösungen eingesetzt. Sie haben sich durch Optimierungen bei den Herstellungsverfahren hinsichtlich Komplexität der Tankgeometrien weiterentwickelt und nähern sich dadurch an Vorteile der Kunststoffvarianten an. Stahl tanks gelten jedoch allgemein als kostenaufwändig und stehen daher in starker Konkurrenz mit dem Trend zu Kunststofftanks. Stahl tankausführungen dürften aus diesem Grund in Fahrzeugprojekten meist aus ökonomischen Gründen von den inzwischen sehr leistungsfähigen Kunststoffvarianten ersetzt werden.

Als bleibendes Argument für den Einsatz von Stahl tanks werden auch in Zukunft die ausgezeichneten Emissionseigenschaften bestehen. Eine Reduzierung der Teilekosten auf ein mit Kunststofftanks konkurrenzfähiges Niveau ist aus aktueller Sicht nur unter Verwendung von günstigeren niedriglegierten Metallwerkstoffen und einfachen Herstellungsverfahren realistisch.

Im Bereich von Systemkomponenten wie Aktivkohlefilter zeigt sich ebenfalls ein fortgeschrittener Entwicklungsstand. Systementwickler haben bereits konstruktive Maßnahmen wie Mehrkammerbauweisen zur optimalen Nutzung von verschiedenen Aktivkohletypen und Integration von Funktionsbauteilen im Einsatz. Als zukunftsweisend werden Konzepte mit Verwendung von höherwertigem Aktivkohlematerial gesehen, welche mit zusätzlichen Maßnahmen wie Spülluftbeheizungseinrichtungen ihre Potentiale nutzen können.

Bei Kraftstoffleitungssystemen liegen die emissionsoptimierenden Maßnahmen hauptsächlich im materialtechnischen Bereich. Hierbei werden mehrschichtige Wandmaterialien mit Emissionssperrschichten wie zum Beispiel EVOH oder fluorierten Polymeren eingesetzt um aktuelle Anforderungen zu erfüllen.

In ähnlicher Weise werden bei Elastomerschläuchen mehrschichtige Bauweisen verwendet um die Permeation zu reduzieren und Kosten zu sparen, in dem der Anteil an kostengünstigem Trägermaterial erhöht wird. Ein bewehrtes und vielfach eingesetztes Elastomermaterial mit hohem Potential zur Reduktion von HC-Emissionen sind Polymere mit Fluoranteil (FPM), bekannt unter dem Produktnamen Viton.

Auch für alle Dichtschnittstellen im Kraftstoffsystem (Kupplungsstellen, Flanschdeckel, etc.) wird die Verwendung von Fluorpolymeren empfohlen.

Seitens konstruktiver Auslegungen von Kupplungsstellen werden verschiedene optimierte Systeme für trennbare oder nicht trennbare Verbindungen eingesetzt. Von Wichtigkeit für diese, als auch für zukünftig entwickelte Verbindungssysteme ist die konstruktionsgerechte Integration und Gestaltung von Dichtungen unter Berücksichtigung ihrer Materialeigenschaften.

Grundlegend gelten für die Reduktion von Emissionen in Kraftstoffsystemen folgende Gesichtspunkte als erstrebenswert:

- Verwendung von Barrierematerial / Multilayermaterial
- Minimierung der Anzahl an Tanköffnungen (Systemintegration)
- Integration von Leitungen, Ventilen und anderen Systemkomponenten in den Tank (Systemintegration)
- Einsatz hochdichter Flanschsyste
- Minimierung der Anzahl an emissionsrelevanten Komponenten wie Leitungen (z.B. rücklauflose Systeme), Verbindungen, Ventilen
- Reduzierung von Leitungslängen
- ggf. Entfall des externen Ausgleichsbehälters der Betankungsentlüftung

Empfehlungen für die Konzeptfindung

Es sollte bereits in der Konzeptphase eine möglichst genaue Emissionsabschätzung anhand von Simulationen und Erfahrungswerten erstellt werden, um die Fähigkeit des Konzeptes gut einstufen zu können. Notwendigerweise ist die Abschätzung mit einer Sicherheit zu beaufschlagen um Streuungen durch Prozesseinflüsse oder Materialeigenschaften zu berücksichtigen.

Des Weiteren werden Potentiale für Systemlieferanten und Fahrzeughersteller in den folgenden Punkten angeführt.

Potentiale von Systemlieferanten

Aus Sicht von Gesamtfahrzeugentwicklern sollte der Systemlieferant für die Kraftstoffversorgungsanlage (Entwicklung sowie Produktion) so früh als möglich in die Konzeptentwicklung integriert werden.

Die Einhaltung komponentenspezifischer Emissionsanforderungen und die entsprechenden Zielsetzung der Komponentenauslegung liegen in seiner Verantwortung und sollen bereits im Vorfeld bestmöglich abgestimmt sein. Er hat gute Detailkenntnis über das Emissionsverhalten verschiedener Komponenten, kann bestehende und bekannte Komponenten aus seinem Produktportfolio einsetzen und hat zumeist eine Strategie für bestimmte Herstellungsverfahren, die er hinsichtlich produktionstechnischen und konstruktiven Auswirkungen abschätzen kann.

Die Wahl für ein Herstellungsverfahren ist stark preisabhängig. Technologien oder Verfahren zur Minderung von Emissionen erhöhen den Kostenaufwand, je nach Ausführung und Effektivität. Die Qualität und Tauglichkeit der Systeme hinsichtlich Emissionseigenschaften wird vorausgesetzt und ein entsprechender Stand der Technik um die Ziele umzusetzen ist verfügbar.

Erste Priorität in der Auslegung liegt in der Fähigkeit des Kraftstoffsystems, Emissionsanforderungen zu erfüllen. Mit zweiter Priorität kommt im Allgemeinen die Kostenoptimierung zu tragen. Der Kostendruck in heutigen Projekten ist sehr hoch und es werden entsprechende Maßnahmen gefordert um bereits in der Entwicklungs- und darüber hinaus in der Produktionsphase Kostenpotentiale zu finden.

Die Herausforderung besteht in diesem Zusammenhang also in der Optimierung von Verfahrenstechnik und Produktionsabläufen im Zusammenspiel mit konstruktiven Aspekten. Es gilt das Ziel, unter Beibehaltung guter Emissionseigenschaften die Kosten zu reduzieren und auf diese Weise die Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern. Neben dem Einsatz von neu entwickelten Verfahren, kann es auch attraktiv sein, konventionelle Herstellungsvarianten entsprechend zu optimieren und mit bewährten Methoden konkurrenzfähig zu sein.

Einfluss durch Fahrzeughersteller

Ein von Fahrzeugherstellern mögliches Kostenpotential liegt in einer sinnvoll gestalteten Strategie für Variantenbildung. Trotz regional unterschiedlich hoher Anforderungen in jeweiligen Fahrzeugmärkten ist es oft sinnvoll, die Variantenvielfalt gering zu halten. Es kann effektiver sein, mit einer technisch hochwertigen und somit umfangreichen Variante pauschal einen gesamten Marktbereich abzudecken, weil es in den jeweiligen Fällen technisch und finanziell aufwändiger wäre, verschiedene Lösungen mit wesentlich geringeren Stückzahlen zu produzieren.

Ein technisches Potential zur Verringerung von Verdunstungsemissionen in Gesamtfahrzeugen liegt in der Regenerierungsstrategie der Motorsteuerung zur Spülung des Aktivkohlefilters. Die Effektivität des AKF kann durch die fahrzeugseitige Maßnahme einer optimierten Regenerierungsstrategie gesteigert werden und kann somit Potentiale in den Emissionsanforderungen anderer Komponenten des Kraftstoffsystems bringen. Eine entsprechende Optimierung in diese Richtung ist detailliert mit Motorenentwicklern abzustimmen, da in Hinblick auf Motoreigenschaften bestimmte nachteilige Effekte wie Leistungsminderung oder eine Verschlechterung der Abgasemissionen zu erwarten sind. Das Ziel in diesem Zusammenhang muss sein, einen bestmöglichen Kompromiss aus Motoreigenschaften und Emissionsverhalten der Kraftstoffversorgungsanlage zu erzielen.

3 Biologische Kraftstoffe

3.1 Allgemeine Informationen

3.1.1 Warum biologische Kraftstoffe?

Die Begründung für die Verwendung von biologischen Kraftstoffen wird im Wesentlichen in der Biokraftstoffdirektive EC2003/30 in Form von drei Zielsetzungen beschrieben:

- A) Reduktion der Abhängigkeit von Energieträgern
- B) Reduktion von Treibhausgasen
- C) Neue landwirtschaftliche Absatzmöglichkeiten

Reduktion der Abhängigkeit von Energieträgern

Die Energieversorgung in weltweiten Märkten wird zurzeit hauptsächlich durch den Abbau fossiler Rohstoffe gedeckt. Am Beispiel der Versorgung des Straßenverkehrs führt die Verwendung von bisher typischerweise fossilen Kraftstoffen zu einer Abhängigkeit von erdölfördernden Staaten hinsichtlich Verfügbarkeit und Preis des erdgebundenen Rohstoffes. In Anbetracht der begrenzten Erdölreserven ist langfristig eine Verstärkung dieser Abhängigkeit zu erwarten.

Die begrenzte Reichweite von Erdöl und anderen Primärenergieträgern wird im Diagramm 10 anhand einer Auswertung ersichtlich. Die Angaben in der Grafik entsprechen der „statischen Reichweite“. Diese beschreibt die Reichweite eines Rohstoffes in Jahren unter Annahme eines gleichbleibenden Verbrauches in der aktuellen Größenordnung.

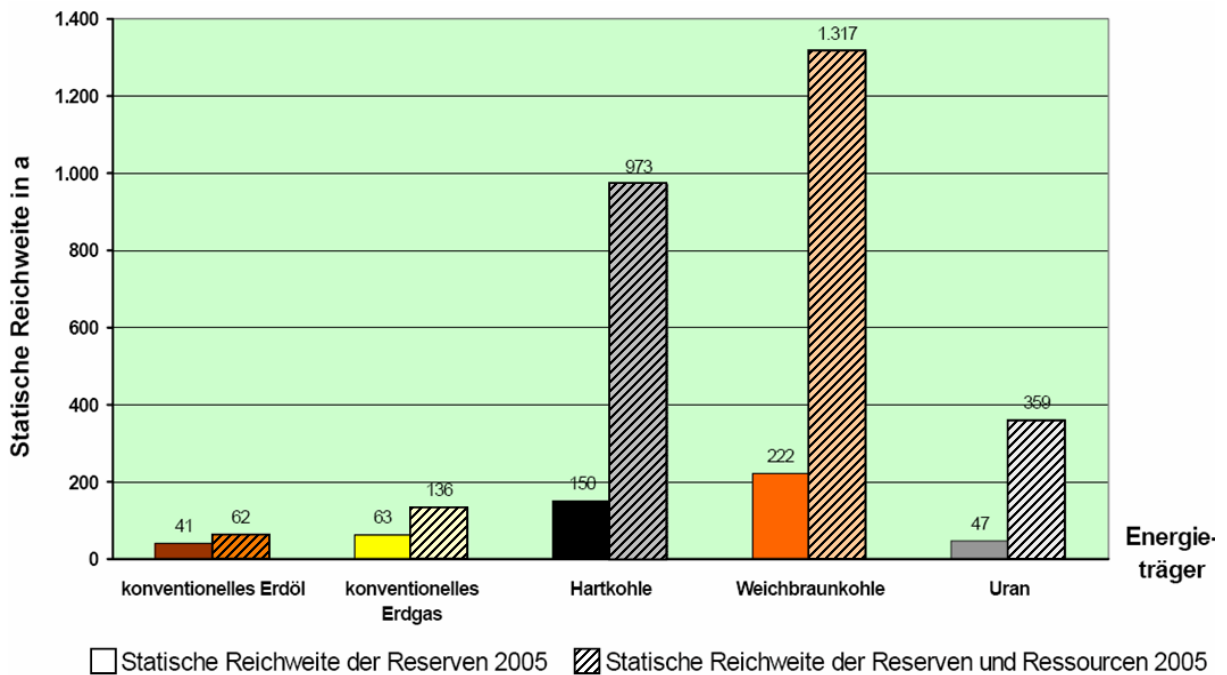


Diagramm 10: Statische Reichweite der weltweit verfügbaren Primärenergieträger [66]

Um die Kraftstoffversorgung in den verschiedenen Märkten langfristig aufrecht zu erhalten sind entsprechende Strategien auszuarbeiten und zeitgerecht einzusetzen.

Eine der auch kurzfristig anwendbaren Alternativen ist die Verwendung von biologischen Kraftstoffen im Sinne von „erneuerbaren Energien“. Diese bieten durch alternative Arten der Kraftstoffgewinnung auf landwirtschaftlicher Basis die Möglichkeit, unabhängige Energie bereitzustellen, ohne auf fremde Erdölressourcen zurückgreifen zu müssen.

Reduktion von Treibhausgasen

Ein Hauptargument für die Umweltfreundlichkeit von biologischen Kraftstoffen ist die Reduktion des Treibhausgases Kohlendioxid (CO_2), welche in Form eines geschlossenen Stoffkreislaufes ermöglicht wird.

Der globale CO_2 -Haushalt bleibt unter Verwendung von landwirtschaftlich hergestellten Alternativkraftstoffen insofern stabil, da Pflanzen als nachwachsender Rohstoff die beim Betrieb von Verbrennungsmotoren produzierten CO_2 -Gase wieder binden können. Damit entsteht, wie in der Abbildung 41 schematisch dargestellt, ein geschlossener Kreislauf (rechts). Im Gegensatz dazu besteht unter der Verwendung von konventionellen Kraftstoffen aus fossilen Rohstoffen ein offener Kreislauf, in dem erdgespeichertes CO_2 an die Atmosphäre abgegeben wird (links).

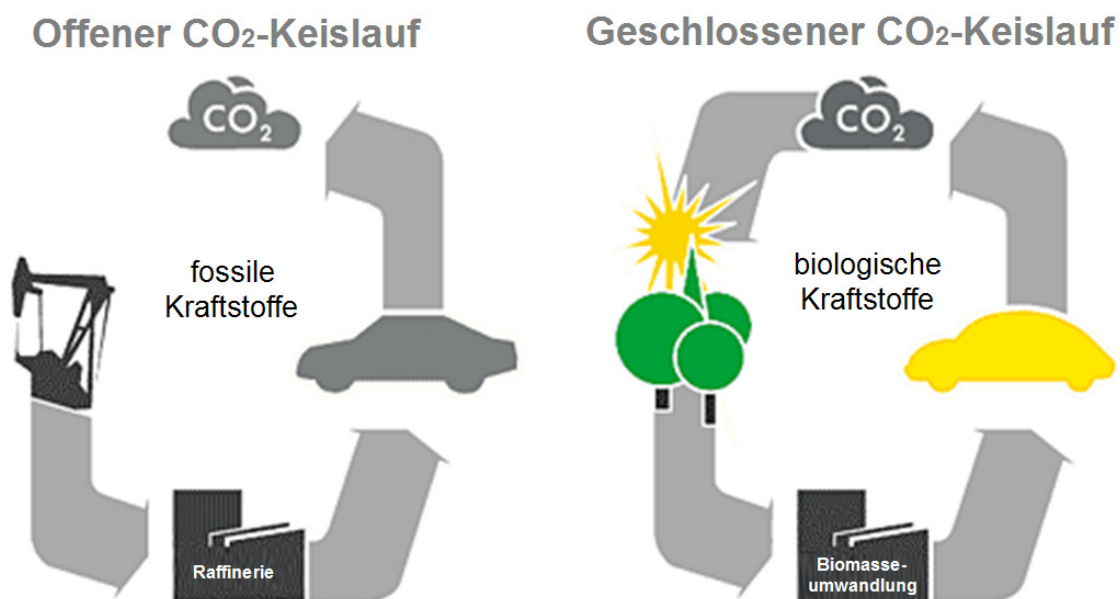


Abbildung 41: Offener und geschlossener CO_2 -Kreislauf

Ein anderer Aspekt mit Auswirkung auf Luftverschmutzung ist der geringere Ausstoß von CO_2 -Abgasen beim Betreiben von Fahrzeugmotoren mit biologischen Kraftstoffen, verglichen mit konventionellen Kraftstofftypen.

Zur Darstellung wird in der Tabelle 7 der kilometerbezogene CO₂-Ausstoß bei Fahrzeugen mit biologischen Kraftstoffen und den jeweiligen konventionellen Vergleichskraftstoffen gegenübergestellt.

Biokraftstoff	Emissionen gCO ₂ /km	Vergleichs- kraftstoff (2002)	Mittl. Ein- sparung in %	Hektarerträge (netto)
Biodiesel (Raps)	70 – 100 (i 85)	Diesel (165 gCO ₂ /km)	48,5	35 – 40 GJ/ha
Rapsöl	50 – 90 (i 70)	Diesel (165 gCO ₂ /km)	57,6	35 – 40 GJ/ha
Bioethanol (Weizen)	125 – 145 (i 135)	Benzin (190 gCO ₂ /km)	28,9	10 – 25 GJ/ha
Ethanol aus Lignocellulose	35 – 40 (i 37,5)	Benzin (190 gCO ₂ /km)	80,3	20 – 30 GJ/ha
BTL aus Energiepflanzen	15-20 (i 17,5)	Diesel (165 gCO ₂ /km)	89,4	80 – 90 GJ/ha

Tabelle 7: Vergleich von CO₂-Abgasemissionen verschiedener Kraftstoffe [67]

Landwirtschaftliche Absatzmöglichkeiten

Der Bedarf an biologischen Kraftstoffen bildet eine zusätzliche Absatzmöglichkeit im Agrarsektor. Es werden Rohstoffe und Endprodukte für Biokraftstoffversorgung landwirtschaftlich hergestellt und vermarktet. Neben der Verarbeitung von Ölpflanzen oder zuckerhaltigen Pflanzen für spezifische Anwendungen ermöglicht die Verwertung verschiedenster Formen von Biomasse ein weiteres Spektrum an Produkten.

Diese Absatzmöglichkeiten steigern die Wertschöpfung in den jeweiligen Bereichen. Speziell in landwirtschaftlich problematischen Regionen kann damit eine wirtschaftliche Stabilisierung bewirkt werden.

Zukünftiger Trend

Wie im Diagramm 11 anhand Biodiesel (FAME) und Ethanol zu erkennen ist, stieg die Produktion und Verwendung von biologischen Kraftstoffen in den letzten Jahren stark an. Durch zunehmende Verbreitung und Beimischungsvorschriften ist eine Zunahme der Produktion zu erwarten. Die Europäische Union zeigt Ambitionen, den Biokraftstoffanteil am Markt bis zum Jahr 2020 auf 10% zu erhöhen [68].

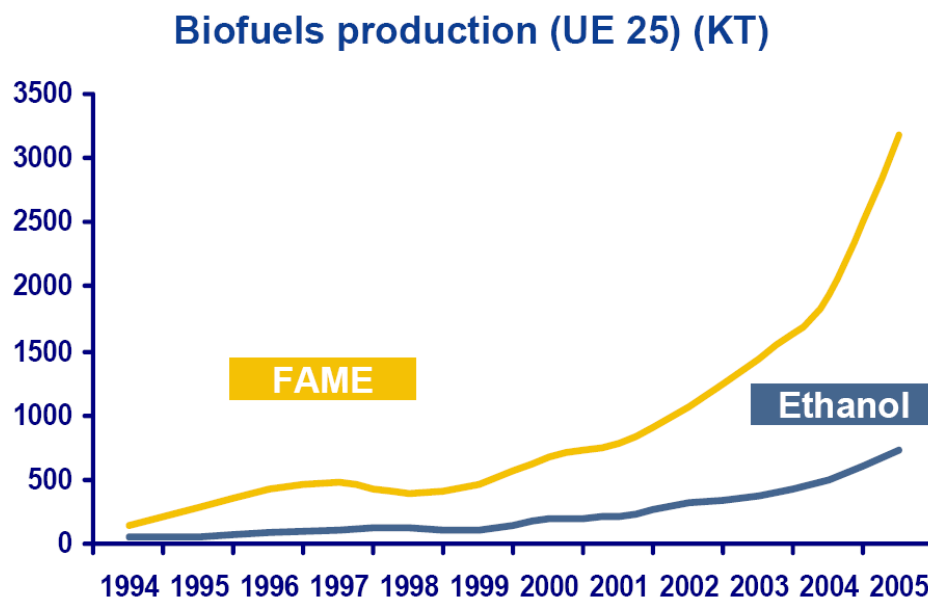


Diagramm 11: Verlauf der Biodieselproduktion in Europa (EU25) [69]

3.1.2 Arten von biologischen Kraftstoffen

Biologische Kraftstoffe können prinzipiell nach Art ihrer Anwendung (Otto- oder Dieselmotorbetrieb in Motoren), sowie ihres Herstellungspfades anhand von Generationen eingestuft werden.

Die Abbildung 42 zeigt die wesentlichen konventionell und alternativ hergestellten Kraftstoffe im Überblick.

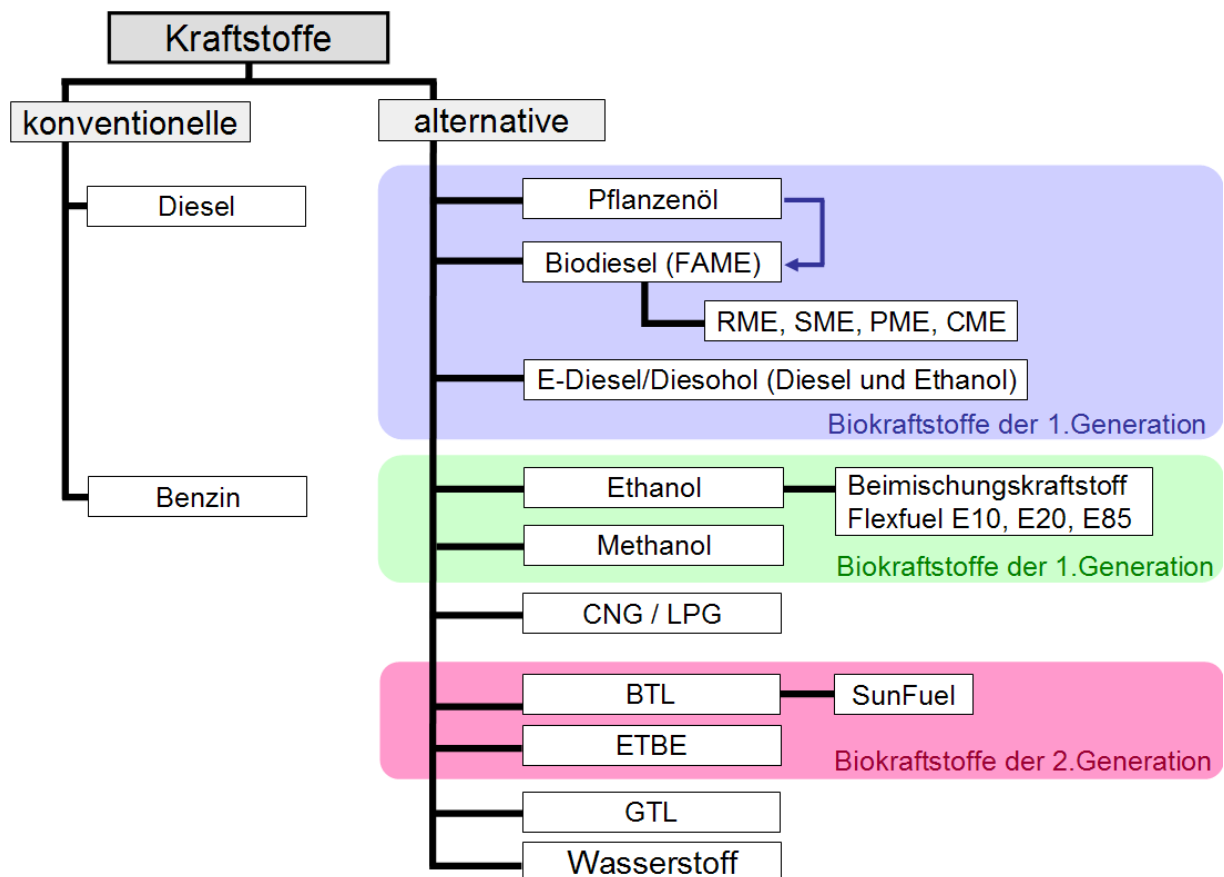


Abbildung 42: Übersicht Kraftstoffarten

Biokraftstoffe der 1. Generation

Biologische Kraftstoffe der 1. Generation zeichnen sich durch eine direkte Gewinnung aus pflanzlichen Rohstoffen aus, wobei die Verwertung auf nur einen Teil der Pflanze ausgerichtet ist. Die Herstellungsverfahren sind mit gängiger Technik machbar und somit auch für regionale Herstellung geeignet. Biogene Kraftstoffe der ersten Generation sind

bereits am Markt verfügbar. Sie werden wie folgt anhand der gelisteten Varianten in kurzer Form beschrieben:

- **Pflanzenöl:** Es wird als Reinkraftstoff und als Basis für eine Weiterverarbeitung zu Biodiesel verwendet.
- **Biodiesel (FAME / fatty-acid-methyl-ester)** ist ein umgeestertes Pflanzenöl. Es handelt sich um einen bereits verbreiteten biologischen Kraftstoff für Dieselmotoren in verschiedenen Varianten, je nach pflanzlichem Grundstoff:
 - RME – Rapsmethylester (größte Verbreitung, Schwerpunkt Mitteleuropa)
 - SME – Sonnenblumenmethylester (mit kleinem Anteil in Europa verbreitet)
 - SME – Soja-Methylester (großes Anwendungsgebiet in Nordamerika)
 - PME – Palmölmethylester (Hauptrohstoff für Biodiesel in Südostasien)
 - CME – Kokosölmethylester (Verwendung als Ergänzung zu PME)
- **E-Diesel** (auch Diesohol genannt) ist Dieselkraftstoff mit Ethanolbeimischungsraten von 7-15%. Seine Verwendung gilt als Reduzierungsmaßnahme für Feinstaub aus Fahrzeugabgasen und wird vor allem in Amerika und Australien verwendet.
- **Ethanol (EtOH)** ist ein alkoholischer Biokraftstoff, der hauptssächlich in Ottomotoren verwendet wird. Es wird als Benzinzugabe in verschiedenen Beimischungsraten (E5, E10, E20, E85, etc.), oder in reiner Form (E100) verwendet.
- **Methanol** ist ähnlich wie Ethanol ein Biokraftstoff auf alkoholischer Basis. Er wird zur Steigerung der Oktanzahl eingesetzt und ist chemisch sehr aggressiv. Er ist technisch erprobt, wird zurzeit jedoch nicht kommerziell angeboten. Einsatz teilweise im Rennsport.

Biokraftstoffe der 2. Generation

Diese zeichnen sich durch technologisch aufwendigere Herstellungsprozesse gegenüber der ersten Generation aus. Dabei wird der molekulare Aufbau des Rohstoffes (Biomasse) grundlegend verändert und in flüssige Form umgewandelt (Fischer-Tropsch-Verfahren). Die so benannten „Synthetischen Kraftstoffe“ besitzen aufgrund ihrer für die Verwendung in Fahrzeugen besseren Eigenschaften hinsichtlich Motorverbrennung und CO₂-Minderungspotential erhöhtes Potenzial für die Substitution von konventionellen Kraftstoffen. Im Vergleich zu Biokraftstoffen der ersten Generation sind sie allerdings kostenaufwändiger und noch nicht stark am Markt verbreitet.

Die zwei wesentlichsten biologischen Kraftstoffe der zweiten Generation werden wie folgt beschrieben:

- **BTL – Biomass to Liquid**, ist ein synthetischer Kraftstoff der durch Vergasung von Biomasse (Anbaubiomasse, Stroh, Holz, tierische Abfälle, etc.) und anschließender Verflüssigung gewonnen wird. BTL ist auch unter den Produktnamen SunFuel oder Sundiesel bekannt und kann für den Betrieb in Benzin- sowie Dieselmotoren aufbereitet werden.
- **ETBE – Ethyl-tert-Buty-Ether** besteht zu ca. 47% aus biologischem Anteil (säurekatalytische Umsetzung von Ethanol) und wird Benzinkraftstoff zur Erhöhung der Klopfestigkeit zugemischt. Er löst in dieser Verwendung den als giftig geltenden MTBE (Methyl-tert-Butymethylether) ab.[70]

3.1.3 Technische Daten von Kraftstoffen

In dieser Diplomarbeit werden in Zusammenhang mit PKW-Kraftstoffversorgungsanlagen die zwei gängigsten und am meisten auf dem Markt verbreiteten biologischen Kraftstoffe wie Biodiesel (RME) und Bio-Ethanol (EToH) behandelt.

In Tabelle 8 und 9 sind grundlegende technische Daten dieser biologischen Kraftstoffe parallel zu den Daten der jeweiligen fossilen Vergleichskraftstoffe aufgelistet.

Kraftstoff	Dichte [Kg/dm ³]	Heizwert [MJ/Kg]	Viskosität [mm ² /s]	Flamm-punkt [°C]	CFPP (Filterver-stopfungspunkt) [°C]	Cetan-zahl
Diesel	0,83-0,85	42,8	3-8	>55	-24	>50
Biodiesel (RME)	0,87	37,1	6-8	55-170	< -12	52-56
Rapsöl	0,92	37,2	69	200	+18	44

Tabelle 8: Kennwerte von Dieselkraftstoffen [71]

Kraftstoff	Dichte [Kg/dm ³]	Heizwert [MJ/Kg]	Verdampfungs-wärme [KJ/Kg]	Siedetemp. [°C]	Oktan-zahl
Benzin ROZ 95 [72]	0,73-0,78	43,5	-	25-215	95
Ethanol [73]	0,79	26,8	904	78	108

Tabelle 9: Kennwerte von Ottokraftstoffen

3.1.4 Gesetzliche Rahmenbedingungen für Biokraftstoffe

In weltweit verschiedenen Märkten gibt es zunehmend gesetzliche Forderungen für die Verwendung von biologischen Kraftstoffen. Diese Forderungen begründen sich in Bestrebungen zur Förderung des Umweltschutzes, sowie wirtschaftlichen Vorteilen.

Gesetzliche Rahmenbedingungen

Die EU-Richtlinie 2003/30/EG zur „Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderer erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor“ sieht vor, dass Biokraftstoffe bis 31. Dezember 2010 mindestens 5,75 Prozent Anteil am Gesamt-Kraftstoffmarkt haben müssen (bis Ende 2005 waren zumindest zwei Prozent zu erreichen).

Neben der Verwendung von reinem Biokraftstoff sind auch Beimischungen zu fossilen Kraftstoffen zulässig. Die Norm DIN EN 590 lässt für Dieseldieselkraftstoff eine Beimischung von bis zu 5% FAME zu. Bei Ottokraftstoffen ist gemäß DIN EN 228 eine Beimischung von Ethanol in zwei Formen möglich: als reines Ethanol (bis zu fünf Prozent) und nach chemischer Umwandlung als Ether (ETBE, bis 15%). Auf Beimischungen bis zu den genannten Grenzwerten muss an Tankstellen nicht hingewiesen werden. [74]

Beimischungspflicht am Beispiel Deutschlands

Am Beispiel Deutschlands wird durch Änderung des Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG) die Mineralölwirtschaft ab 1. Januar 2007 verpflichtet, einen bestimmten Mindestanteil (Quote, bezogen auf energetischen Gehalt der Kraftstoffe) des Kraftstoffabsatzes auf den deutschen Markt zu verkaufen. Folgend sind Beispiele für Diesel und Benzinkraftstoffe angeführt:

Diesel	ab 2007 4,4%
Ottokraftstoff	ab 2007 1,2%, gestaffelt bis ab 2010 3,6 %
Gesamtquote:	ab 2009 6,25% gestaffelt bis ab 2015 8%

3.1.5 Kontroversen

Trotz der genannten Vorteile der biologischen Kraftstoffe sind diese in vielerlei Hinsicht stark umstritten und führen zu weitreichenden Diskussionen. Ihre Herstellung und Anwendung steht in Zusammenhang mit verschiedensten problematischen Effekten die kurz- und langfristig weltweite Auswirkungen verursachen können. Die wesentlichsten Themen kontroverser Diskussionen werden in diesem Unterkapitel kurz angeschnitten.

Beispielsweise liegen die Herstellungskosten von biologischen Kraftstoffen um mehr als die Hälfte höher als die von fossilen Kraftstoffen. Um die Biokomponenten wirtschaftlich zu machen und die Attraktivität für Kunden anzuheben sind daher staatliche Subventionen und Förderungen erforderlich. Am Beispiel Deutschland wurden Biokomponenten in Kraftstoffen durch Änderung des Mineralölsteuergesetzes (MinÖStG)

zwischen 2004 und 2007 steuerlich begünstigt. Dem Endkunden und der Mineralölindustrie wird dadurch ein Anreiz geschaffen, Biokraftstoffe zu verwenden. Aus heutiger Sicht sind biogene Kraftstoffe ohne solche Begünstigungen nicht konkurrenzfähig, erst durch einen stark erhöhten Ölpreis wird ein wirtschaftlicher Einsatz möglich sein.

Die umweltfreundlichen Auswirkungen durch den Einsatz biologischer Kraftstoffe werden in ihrem Ausmaß von vielen Seiten hinterfragt. Betreffend CO₂-Minderungspotential wird entgegengesetzt, dass ein großer Energieaufwand für die Anpflanzung und Verarbeitung der jeweiligen Kraftstoffe zu berücksichtigen ist. Lebensweganalysen zeigen, dass die Substitution konventioneller Kraftstoffe durch Biokraftstoffe trotz Einschränkungen mit einer deutlichen Reduktion von klimarelevanten Emissionen in Verbindung stehen [75].

Ein weiterer von vielen Seiten kritisch gesehener Gesichtspunkt ist der globale Einfluss der Biokraftstoffproduktion auf landwirtschaftliche Strategien. Zum einen führt die Nachfrage für biogene Rohstoffen zu einem erhöhten Bedarf an Ackerfläche, welcher sich in Form von verstärkter Rodung klimarelevanter Waldbestände und Verdrängung des für Lebensmittelproduktion erforderlichen Anteils auswirkt. Zum zweiten können sich globale landwirtschaftliche Vermarktungsstrategien wesentlich verändern. Durch die steigende Nachfrage für Biokraftstoffe kann der Anbau von Rohstoffen für die Kraftstoffherstellung höhere Einnahmen erzielen als vergleichsweise für Lebensmittel. Beide Aspekte können langfristig zum weltweiten Anstieg von Lebensmittelpreisen führen.

Als technischer Gesichtspunkt ist anzumerken, dass noch viele der am Markt befindlichen Fahrzeuge keine ausreichende Tauglichkeit für den Betrieb von Biokraftstoffen besitzen. Die Falschverwendung von diesen Kraftstofftypen kann zu kostenaufwändigen Beschädigungen in den Kraftstoffsystemen und Motoren solcher Fahrzeuge verursachen. In diesem Punkt ist die Fahrzeugindustrie gefordert, ihre Produkte hinsichtlich der Beständigkeit für biologische Kraftstoffe zu verbessern.

3.2 Biodiesel

3.2.1 Allgemeine Informationen

Biodiesel ist ein biologischer Kraftstoff für den Betrieb in Dieselmotoren, der aus pflanzlichen Ölen wie beispielsweise Raps, Sonnenblumen, Sojabohnen, aber auch Speisefett oder tierischen Fetten hergestellt wird. Er wird dem konventionellen Kraftstoff in verschiedenen Beimischungsraten hinzugesetzt (B5, B10, B20, etc.), oder als Reinkraftstoff verwendet (B100).

Verbreitung auf Märkten

Der weltweit größte Biodieselhersteller und -verbraucher ist Europa, im Speziellen Deutschland, wo seit Anfang 2004 die Beimischung von Biodiesel zum fossilen Kraftstoff praktiziert wird. Der Anteil der Beimischung schwankt je nach Verfügbarkeit zwischen null und maximal fünf Prozent. Laut Angaben von AGQM (Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel) flossen in Deutschland im Jahr 2005 rund 600.000 Tonnen Biodiesel in die Beimischung. Dies entspricht einem Anteil von 33% des gesamten Biodieselabsatzes in diesem Jahr. In Diagramm 12 ist die Marktverteilung der Biodieselproduktion des Jahres 2005 dargestellt.

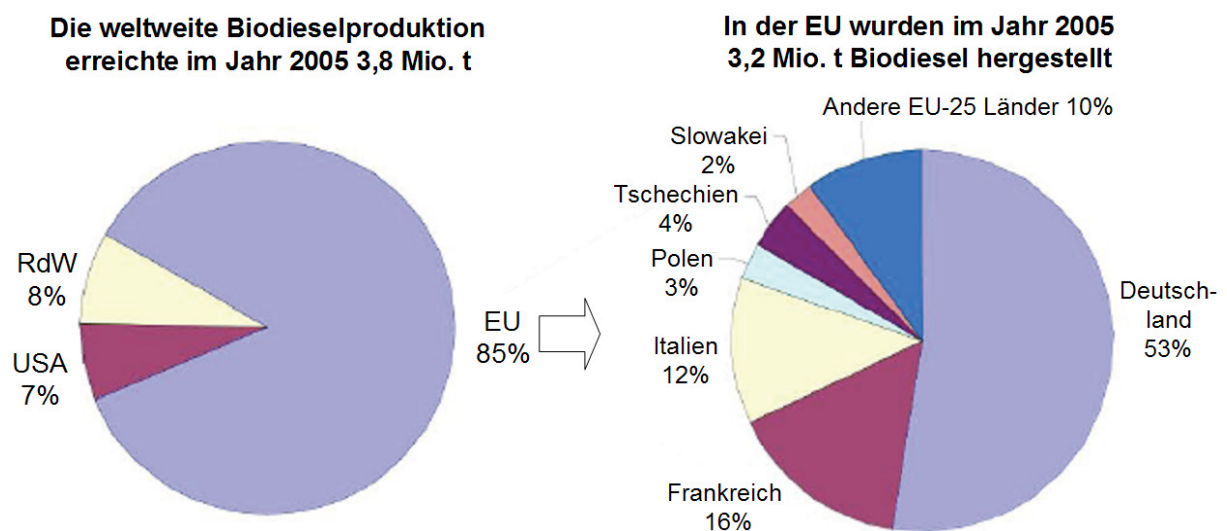


Diagramm 12: Weltweite Biodieselproduktion im Jahr 2005 [76]

Herstellung

Der am meisten verwendete Grundstoff für die Biodieselerzeugung ist Rapsöl. Es ist Bestandteil des Rapskorns bzw. der Rapssaat, welche sich im lagerfähigen Zustand aus 39-45% Öl, 6-9 % Wasser sowie Rohproteinen, Rohfasern, stickstofffreien Extraktstoffen und Asche zusammensetzt. Bei der Ernte der reifen und abgetrockneten Rapspflanze wird das Rapskorn vom Stroh getrennt und dient so als Grundstoff für die Ölgewinnung. Das darin enthaltene Rapsöl kann entweder in Kleinanlagen ausschließlich durch Pressung, oder in großen Ölmühlen mit einem zusätzlichen Extraktionsprozess gewonnen werden. Die Rückstände aus der Ölgewinnung werden als Extraktionsschrot, ansonsten als Presskuchen bezeichnet.

Das gewonnene Rapsöl ist nicht notwendigerweise direkt motorentauglich oder für eine chemische Umwandlung wie die Umesterung geeignet. Daher wird das Rapsöl nach der Gewinnung meistens noch in Form von Raffination aufgearbeitet, um Verunreinigungen (Schleimstoffe, freie Fettsäuren, farb-, geruchs-, oder geschmacksintensive Begleitstoffe, Oxidationsprodukte, etc.) zu entfernen. In der darauf folgenden Umesterung werden die physikalischen Eigenschaften des Pflanzenöls an die Anforderungen der auf Dieselkraftstoff abgestimmten Motoren angepasst. Bei Einsatz von Methanol als für den Umesterungsprozess erforderlichen Alkohol (alternativ Ethanol) lautet die Bezeichnung des für die Nutzung fertigen Umesterungsproduktes Rapsmethylester. Ein Nebenprodukt des Umesterungsprozesses ist Glycerin, welches als Ersatz für das energieintensiv hergestellte konventionelle Glycerin verwendet werden kann. Der Prozess für die Biodieselherstellung ist in der Abbildung 43 schematisch dargestellt. [77]

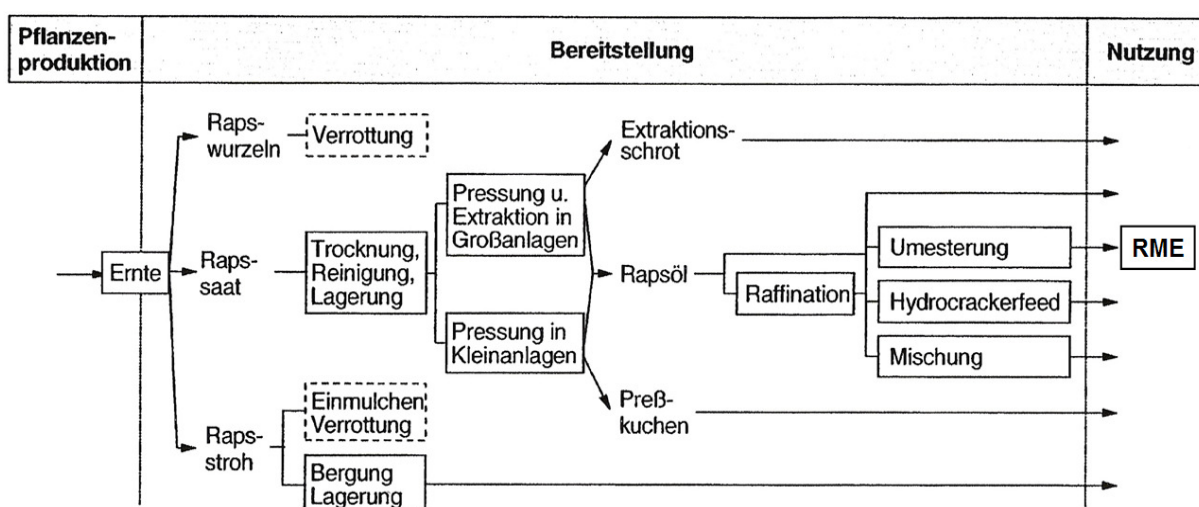


Abbildung 43: Herstellungsschritte der Gewinnung von Biodiesel [78]

Pflanzenöl als Kraftstoff

Das für die Produktion von Biodiesel erforderliche Pflanzenöl kann auch ohne weitere Verarbeitung direkt als Kraftstoff verwendet werden. Es zeichnet sich durch seine kostengünstige Herstellung aus, hat jedoch Nachteile durch ungünstiges Viskositätsverhalten und chemische Unstabilität. Zur Vermeidung aufwändiger Folgeschäden in Fahrzeugen wird daher die Verwendung von ungemischtem Pflanzenöl empfohlen sowie umfangreiche technische Änderungen in kraftstoffführenden Baugruppen vorausgesetzt. Bei Landmaschinen werden teilweise pflanzenöлтаugliche Modelle serienmäßig angeboten. Am PKW-Sektor sind Serienfahrzeuge mit Pflanzenöлтаuglichkeit ab Werk nicht üblich oder bekannt. Für viele PKW-Modelle werden Umbausätze für den Betrieb mit Pflanzenöl angeboten.

Merkmale von Biodiesel: [79]

Vorteile:

- Verursacht in der Anwendung bis zu 50% weniger CO₂ Emissionen
- Geringer Gehalt an Schwefel oder Aromaten
- Reduzierte Partikelemissionen
- Biologisch abbaubar
- Kann elektrisch leitfähig sein

Nachteile:

- Materialunverträglichkeit mit einigen Gummi- oder Kunststoffmaterialien
- Zur Zeit keine Technologie für die Verwendung von reinem Biodiesel in Fahrzeugen der Abgasnorm EURO4 verfügbar

In Fahrzeugen mit Dieselpartikelfilter ist eine Anwendung von reinem Biodiesel nicht zu empfehlen. Die Hauptprobleme dabei sind die unzuverlässige Regenerierung des DPF und die Verdünnung des Motoröls.

Aufgrund des unterschiedlichen Heizwertes im Vergleich zu konventionellem Dieselmotorkraftstoff können Probleme hinsichtlich der Laufruhe des Motors auftreten.[80]

Die Eigenschaften und Beschaffenheit von Biodiesel unterliegen der DIN EN590 für Dieselkraftstoffe. Für die Absicherung einer langfristigen Anwendung von Biodiesel in Kraftstoffsystemen gibt es zurzeit keine festgeschriebenen Testmethoden, welche am Markt angenommen werden.

Chemische Eigenschaften

Kraftstoffqualitätsstandards sind noch unzureichend auf biologische Kraftstoffe abgestimmt.

Bei der Herstellung von Biodiesel verbleiben unbekannte Substanzen und Mikroorganismen im Kraftstoff und führen zu unabsehbaren Wechselwirkungen und chemischen Reaktionen.

Biodiesel ist damit chemisch nicht stabil und ändert seine Eigenschaften. Durch Alterung des Kraftstoffs kann die Korrosionsfreudigkeit und der Angriff von Kunststoffen sowie Elastomeren ansteigen. Weiters neigt Biodiesel zu Flockenbildung.

Viskosität

Biodiesel besitzt im Vergleich zu konventionellem Diesel längere Molekülketten. Dadurch ändert sich sein Viskositätsverhalten, wobei seine Viskosität bei tiefen Temperaturen wesentlich höher liegt als bei herkömmlichen Dieselkraftstoff.

3.2.2 Auswirkungen auf die Kraftstoffanlage

Biodiesel hat bei der Verwendung in Kraftstoffanlagen durch seine chemisch aggressiven Eigenschaften, welche er hauptsächlich durch die Aufbereitung zu höherer Verträglichkeit in Dieselmotoren erhält, verschiedene Einflüsse auf die Materialeigenschaften verschiedener Komponenten. Weiters unterscheidet sich das Viskositätsverhalten des Biodiesels von dem des konventionellen Dieselkraftstoffes und zeigt Nachteile unter Einfluss von Temperatur.

Verlust mechanischer Eigenschaften

Bei HDPE, dem gängigen Werkstoff für KKBs, ist unter Beaufschlagung von RME über einen langen Zeitraum eine größere Abnahme der intrinsischen Viskosität (Staudinger Index) festzustellen, als bei Einwirkung von reinem Diesel. Sie ist ein Indikator für die Größe der Molekülketten im Werkstoff. Durch chemisch aggressive Einflüsse von Biodiesel werden Molekülketten im Material abgebaut und der IV-Wert verringert sich.

Diese Veränderungen im Werkstoff korrespondieren mit Änderungen der physikalischen Eigenschaften und führen zu starker Versprödung durch Abnahme der Plastizität. In der Auswertung eines Materialtests anhand des Diagramms 13 ist ersichtlich, dass sich der Verlust der intrinsischen Viskosität mit zunehmender RME-Beimischung verstärkt.

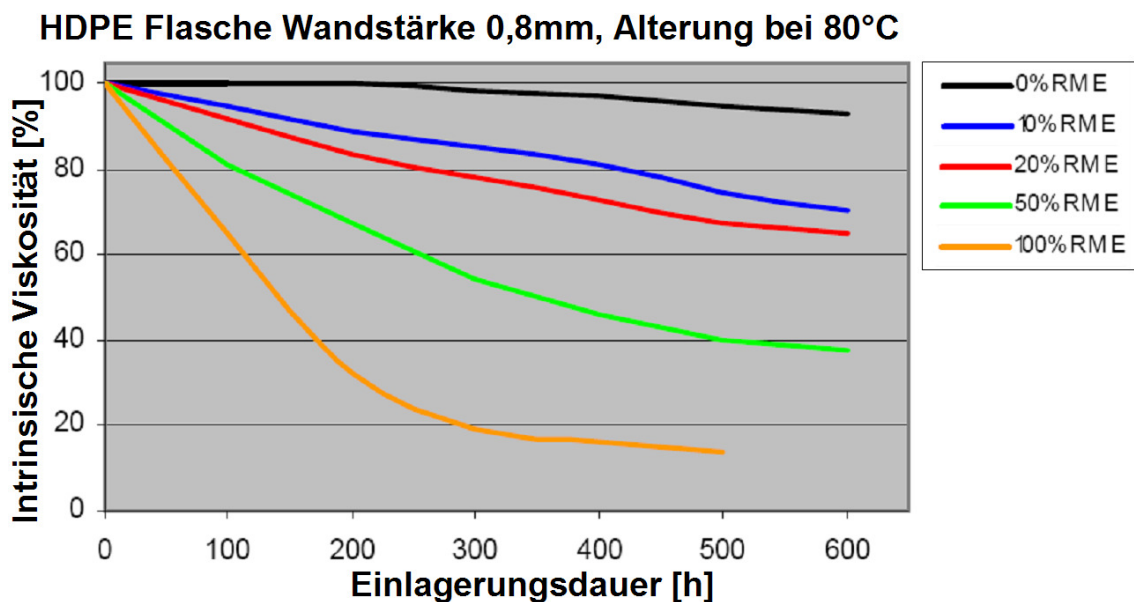


Diagramm 13: Einfluss des RME-Anteils auf das Alterungsverhalten von HDPE [81]

Weiters wird dieser Effekt unter Einwirkung hoher Temperaturen beschleunigt.

Eine Erhöhung der Wandstärke verzögert den Verlust an intrinsischer Viskosität, wie in Diagramm 14 beschrieben, verhindert diesen jedoch nicht.

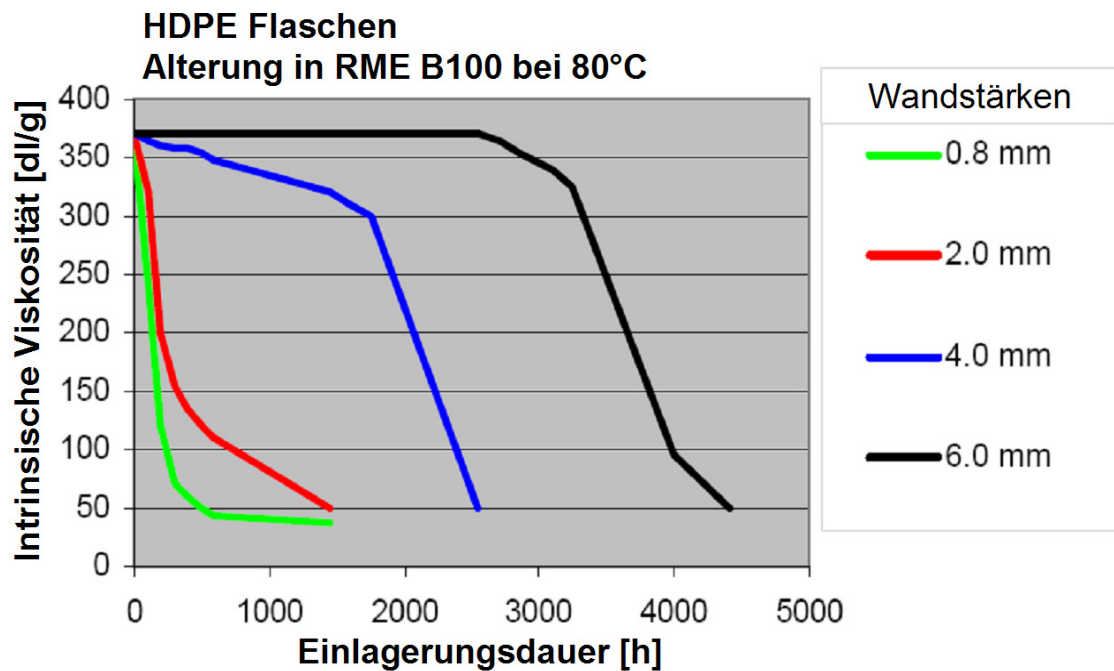


Diagramm 14: Einfluß der HDPE-Wandstärke auf Plastizitätsverlust durch RME [82]

In der Abbildung 44 wird der Einfluss von Biodiesel anhand der Auswirkung eines Versuches sichtbar gemacht. Nach Einlagerung einer unverschlossenen HDPE Flasche über 2500 Stunden bei 80°C in RME (B100) kommt es durch die Kraftstoffeinwirkung zu Bruch. Auch bei Leitungswerkstoffen wie PA tritt dieser Effekt ein.



Abbildung 44: HDPE Flasche nach Einlagerung in RME [83]

Langzeit-Einlagerungstest über 11 Jahre

Um die Einwirkung von RME auf HDPE über mehrere Jahre zu untersuchen, wurde bei einem Kunststoffhersteller ein statischer Langzeittest mit B100 über einen Einlagerungszeitraum von 11 Jahren bei 40°C durchgeführt.

Das Diagramm 15 zeigt die Auswertung aus Zugversuchen mit neuem und dem mit RME beaufschlagten Materialproben und verdeutlicht die Verringerung von HDPE-typischen Eigenschaften wie Elastizität und Bruchdehnung.

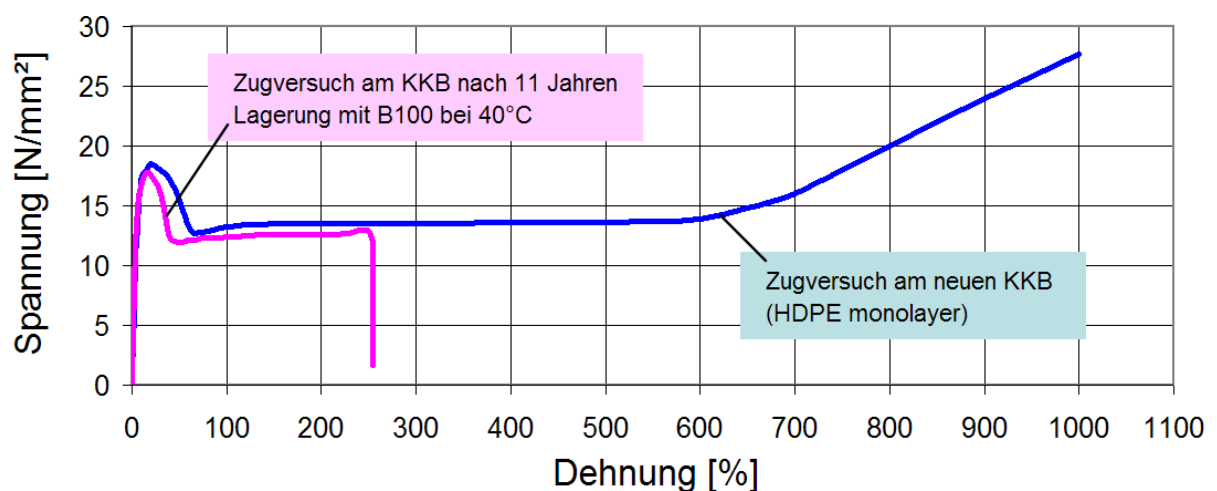


Diagramm 15: Zugversuch von HDPE Material vor und nach RME-Einwirkung [84]

Diese Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften wurde nach einem Einlagerungszeitraum von 11 Jahren festgestellt, eine Messung nach den ersten drei Jahren zeigte noch wenig Einfluss auf Bruchdehnung und Zähigkeit.

Im Bereich der flüssigen Phase zeigte sich an der Tankaußenseite des eingelagerten Kraftstoffbehälters starke Blasenbildung, was die Beschädigung des Materials verdeutlicht. Im Materialbereich der Gasphase wurden neben unbedeutenden optischen Verfärbungen wegen Permeation keine Auffälligkeiten entdeckt.

Auf den folgenden Fotos der Abbildung 45 ist die Blasenbildung und Verfärbung an dem untersuchten Kraftstofftank zu sehen.

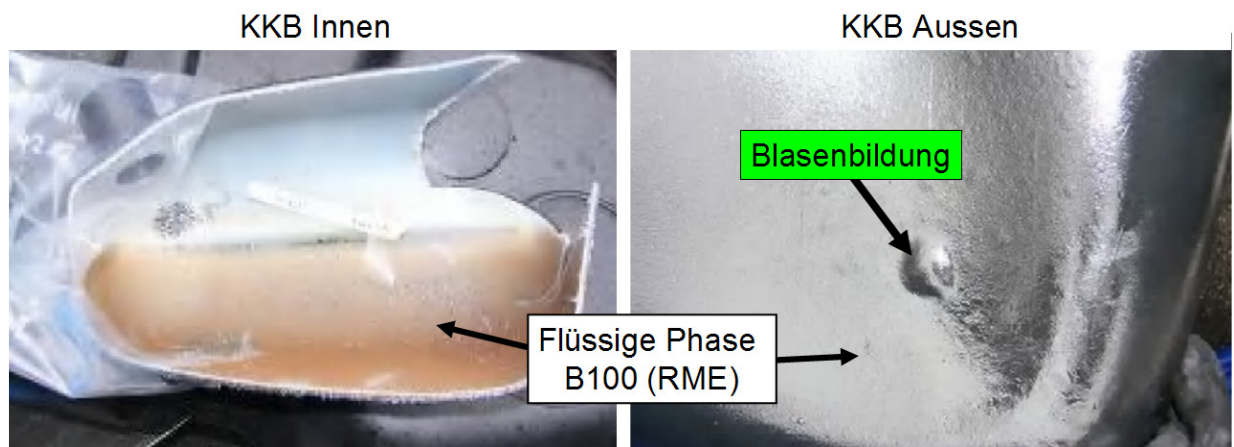


Abbildung 45: Probe eines in RME eingelagerten KKB [85]

Die Blasenbildung einer anderen HDPE-Werkstoffprobe (Wandstärke 0,8mm) nach Einlagerung in RME (B100) für 5 Monate bei 80°C wird in Abbildung 46 anhand eines mikroskopischen Schnittes gezeigt.



Flasche (HDPE) mit 0,8mm Wandstärke nach 5 Monaten mit RME-B100 @ 5 °C

Abbildung 46: Mikroskopische Darstellung des Blaseneffekts [86]

Einfluss auf den E-Modul von HDPE

Der E-Modul von HDPE wird durch Beaufschlagung von RME verringert (Weichmachereffekt), wobei sich diese Auswirkung nicht wesentlich zu der von konventionellem Diesel unterscheidet.

Einfluss auf Quellungsverhalten

Durch die Einwirkung von RME - h ltigem Kraftstoff verringert sich die Volumenquellung bei HDPE im Vergleich zu konventionellem Dieseldkraftstoff. Dieser Effekt steigt durch Erhöhung der Beimischungsrate von RME, beispielsweise liegt die Quellungsrate nach Beaufschlagung von reinem RME (B100) ungefähr bei der Hälfte des Wertes für die Quellungsrate nach Dieselbeaufschlagung. Das Diagramm 16 zeigt dieses Verhalten in Abhängigkeit der Temperatur.

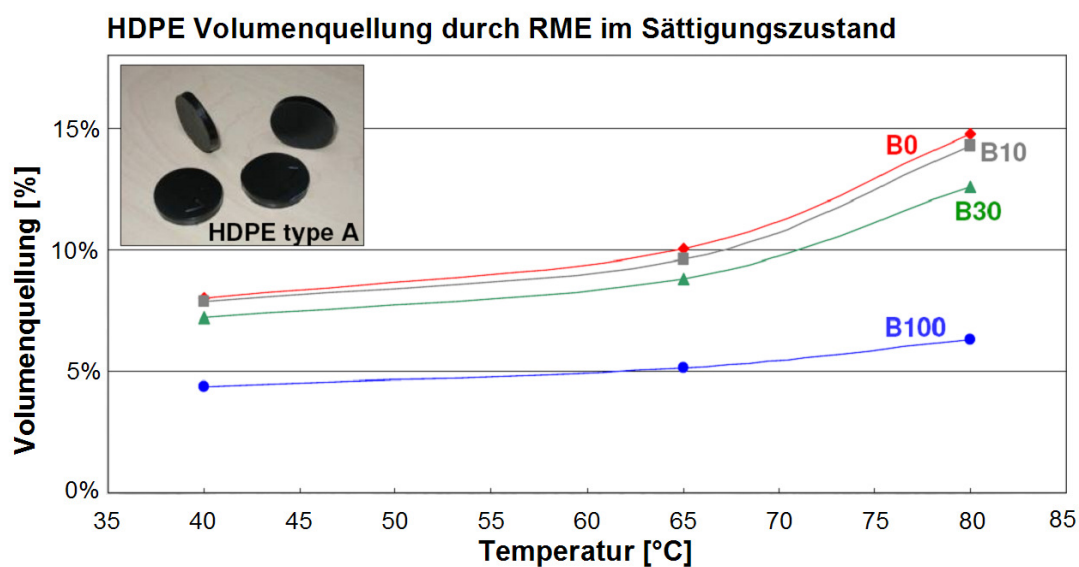


Diagramm 16: Temperatureinfluss auf das Quellungsverhalten von HDPE [87]

Auch bei elastomeren Werkstoffen bewirkt eine Beaufschlagung durch Kraftstoff mit gesteigerter Biodieselbeimischung eine Abnahme der Quellung. Geringe RME Beimischungsraten sind somit kritischer hinsichtlich Volumenquellung zu betrachten als hohe Beimischungsraten.

In Diagramm 17 wird ein Einlagerungstest mit verschiedenen Elastomermaterialien in B30 bei 60°C gezeigt. Es wird dabei ersichtlich, dass HNBR bei steigendem Beimischungsanteil wesentlich höhere Volumenzunahme aufweist, als vergleichsweise NBR-PVC oder FKM-Material, welches die beste Beständigkeit gegen Volumenquellung aufweist.

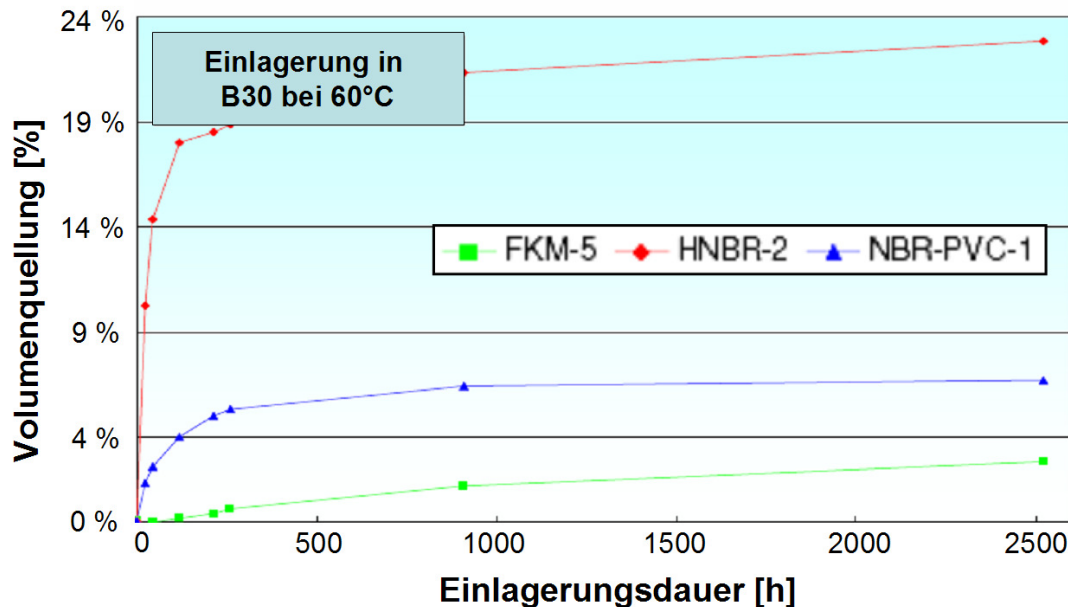


Diagramm 17: Quellungsverhalten von Elastomeren unter Einfluss von Biodiesel [88]

Beschädigung von Elastomermaterialien

Elastomerwerkstoffe werden bei Beaufschlagung mit RME-hältigem Kraftstoff stark angegriffen. Das Zusammenspiel aus chemischer Aggressivität von RME, Volumenquellung und Extraktion von Elastomerbestandteilen führt zu Beschädigung der Materialstruktur und Versprödung.

Bei Dichtungen und Schlauchverbindungen in Kraftstoffsystemen aus konventionellem Material wie zum Beispiel NBR zeigt sich diese Auswirkung am effektivsten, da es an diesen Stellen unweigerlich zu Undichtigkeiten führt.

Die Abbildung 47 zeigt die Beschädigung eines O-Dichtrings durch diesen Zusammenhang.

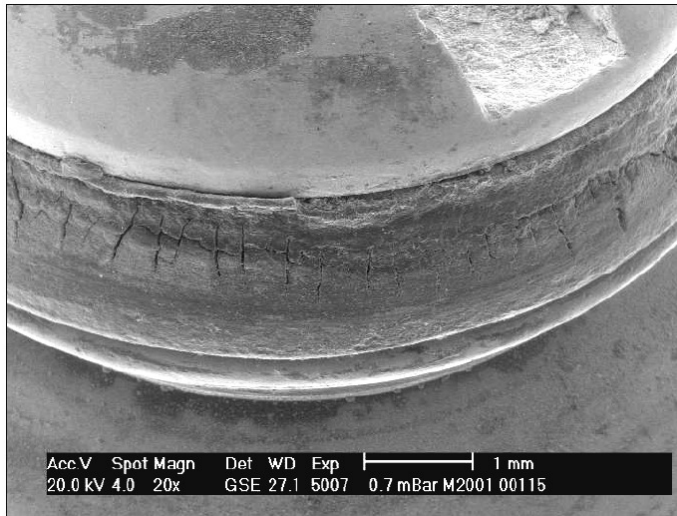


Abbildung 47: Beschädigung eines O-Rings durch Einwirkung von RME [89]

Beschädigung von metallischen Bauteilen

Bei metallischen Komponenten führt RME zu starker Korrosion. Dies ist in der Auslegung kraftstoffführender Komponenten aus Metallwerkstoffen wie Kraftstoffpumpen, Füllstandgebern, Drucksensoren, elektrischen Kabeln und Kontaktstellen, etc. zu berücksichtigen. Materiale mit erhöhter Anfälligkeit sind Kupfer oder andere Weichmetalle wie Aluminium, Messing, Blei oder Magnesium.

Viskosität

Bei tiefen Außentemperaturen kann es zu Problemen bei der Kraftstoffförderung kommen, da der Widerstand des zähflüssigen Kraftstoffs in Leitungen und Filtern steigt. Auch Flockenbildung im Kraftstoff kann zu Einschränkungen der Versorgung kommen, da die Poren der Kraftstofffilter verlegt werden können.

3.2.3 Technische Maßnahmen für den Einsatz von Biodiesel

Um Kraftstoffsysteme für den Biodieselbetrieb tauglich zu machen ist den genannten Problemen bei der Auslegung entsprechend Rechnung zu tragen. Mit den folgenden Punkten werden Möglichkeiten und Maßnahmen zur Verbesserung der Biodieseltauglichkeit von Komponenten und Werkstoffen der Kraftstoffversorgungsanlage beschrieben.

Abhilfemaßnahmen bei HDPE

Um die Beständigkeit von Kunststoffen wie HDPE gegen Biodiesel zu verbessern, werden materialtechnische Optimierungen vorgenommen.

Bei Herstellern von Kunststoffmaterialien wird durch Veränderung der chemischen Zusammensetzungen eine erhöhte Beständigkeit erzielt. Es werden dem Material dabei Additive und Zusatzstoffe mit einem Anteil von bis zu 20% beigemengt. Bevorzugt kommen so genannte Radikalfänger zum Einsatz, welche dem Abbau von Molekülketten durch Biodieseeinfluss entgegenwirken. Man spricht in diesem Zusammenhang von „stabilisierten Polymeren“.

Durch die Verwendung von EVOH-Sperrschichten kann der Verlust der HDPE-typischen Eigenschaften weiter reduziert werden. So werden bei Multilayermaterialien die negativen Auswirkungen in außen liegenden Materialbereichen auf bis zu 50% reduziert.

Allgemein gilt POM als Kunststoff mit hoher Resistenz gegen Biokraftstoffe.

Abhilfemaßnahmen bei Elastomerwerkstoffen

Auch bei Elastomerwerkstoffen liegt die Lösung für RME-Beständigkeit in der Verwendung von entsprechend optimierten Materialien.

In diesem Zusammenhang werden die chemisch sehr beständigen Fluorpolymere (FPM/FKM) vorausgesetzt. Sie zeichnen sich durch hohe Beständigkeit gegen Materialbeschädigung und Volumenquellung unter Beaufschlagung mit Biodiesel aus.

Eingrenzung von Korrosion

Für den Einsatz von metallischen Werkstoffen in Zusammenhang mit Biodiesel wird zur Vermeidung von Korrosion Edelstahl mit hoher Güte empfohlen. Bei niedriglegierten Stahlsorten ist bekannt, dass vernickelte Stähle Tauglichkeit für den Biodieseleinsatz besitzen.

Für elektrische Kontakte wird empfohlen, Beschichtungen mit höherwertigen Materialien aufzutragen.

Maßnahmen für die Kraftstoffförderung von Biodiesel

Um die Kraftstoffförderung von Biodiesel in Kraftstoffsystemen hinsichtlich Viskosität und Flockenbildung zu gewährleisten, werden bauliche Maßnahmen zur Verbesserung wie folgt vorgeschlagen.

- Filtersystem auf geeignete Filter mit entsprechender Porendichte umrüsten oder gegebenenfalls einen zusätzlichen Filter installieren (Vor- und Nachfilter)
- Kraftstoffheizung installieren. Idealerweise wird die Heizung in den Kraftstofffilter integriert, wo die hohe Zähigkeit des Biodiesel am problematischsten ist
- Leitungsquerschnitte erhöhen um den Widerstand zu verringern

Zusätzliche Maßnahmen für die Verwendung von Pflanzenöl

Für die problemlose Verwendung von Pflanzenölen in Kraftstoffsystemen, sowohl in reiner Form, als auch als Beimischung zu Diesel, sind einerseits Maßnahmen wie für Biodieselsbetrieb zu berücksichtigen und durch das ungünstigere Fließverhalten des Öls zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Ein Fahrzeugbetrieb mit Pflanzenöl ohne entsprechenden Umbau ist nicht empfehlenswert. Umrüstfirmen warnen vor einer solchen Falschverwendung, da Folgeschäden zu erwarten sind, welche in vielen Fällen erst zu spät erkannt werden (z.B. Verschlammung des Motoröles).

Die zusätzlichen Maßnahmen sind wie folgt beschrieben:

- Bei Kraftstoffheizungen für Pflanzenölbetrieb gibt es elektrische Heizelemente sowie Systeme, die mit Kühlwasserwärmetauschern arbeiten. Beide Varianten sind auch als separate Beheizungselemente an Kraftstoffleitungen installierbar. Bei elektrischen Systemen gibt es weitere Möglichkeiten, durch Strombeaufschlagung von Kraftstoffrohren mit Heizwiderständen entsprechende

Wirkung zu erzielen, oder eine baulich einfachere Variante zu Wählen, in welcher ein elektrisches Heizelement in den Kraftstofftank integriert ist.

- Modifikation der Motorsoftware. Zum Beispiel wechselt bei Zweitanksystemen die Steuerung erst nach Erreichen der Betriebstemperatur von Diesel- auf Pflanzenölbetrieb, um die Kaltstarteigenschaften des Motors zu verbessern. Beim Abstellen stoppt der Motor erst nach mind. 40 Sekunden Dieselbetrieb. Dadurch werden Filter und Leitungen vorbeugend mit dem weniger zähen Dieseldieselkraftstoff gespült. [90]

3.3 Bio-Ethanol

3.3.1 Allgemeine Informationen

Bio-Ethanol ist ein Alkohol, der durch Vergärung von stärkehaltigen Pflanzen hergestellt wird und als Kraftstoff für Ottomotoren zum Einsatz kommt. Weiters wird Ethanol für industrielle Zwecke sowie zur Genussmittelproduktion verwendet. Seine Eigenschaften und Beschaffenheit unterliegen der DIN EN228 für unverbleite Kraftstoffe.

Als Rohstoff dienen alle Pflanzen, die Zucker oder Stärke enthalten, wie etwa Zuckerrüben, Weizen, Roggen, Mais, sowie Kartoffeln. In tropischen Ländern wird Bioethanol fast ausschließlich aus Zuckerrohr gewonnen.

Neben Ethanol sind auch andere Alkohole wie Methanol, aber auch Isopropanol und T-Butanol als Kraftstoffe bekannt, in Verbindung mit »bleifreiem« Kraftstoff gewannen auch Ether (MTBE, TAME, ETBE) an Bedeutung. Da sowohl Alkohole als auch Ether Sauerstoff als Heteroatom enthalten, spricht man auch von sauerstoffhaltigem bzw. oxigeniertem (engl. oxygenated) Kraftstoff. Anders als die Additive werden diese Chemikalien in weit höheren Mengen, von über 1 Vol.-% bis zu teilweise 10 Vol.-%, zugesetzt. Infolgedessen verändert sich das chemische Erscheinungsbild des Kraftstoffes zum Teil grundlegend. Hydroperoxide sind die aggressivsten der sauerstoffhaltigen Kraftstoffbestandteile. Sie werden aus ungesättigten Kohlenwasserstoffen in Gegenwart von Metallionen zumeist erst im Kraftstoffsystem gebildet. Diese Kraftstoffe werden auch als Sour Gas bezeichnet. Die Entstehung von Sour Gas ist wegen der dort anderen Kraftstoffzusammensetzung weitgehend auf Nord- und Südamerika beschränkt.[91]

Verbreitung auf Märkten

Am Verkehrssektor wird Bio-Ethanol konventionellem Benzin mit einem Anteil von 5% (E5) bis zu 100% (E100) beigemischt und ab einer Beimischungsrate von mindestens 10% unter dem Namen „Flex-Fuel“ vertrieben. Die übliche Beimischungsrate liegt nicht über 85%, um ausreichende Kaltstarteigenschaften und einwandfreien Motorbetrieb

beizubehalten. Höhere Beimischungsraten wie B100 werden hauptsächlich in Brasilien bei entsprechender Ausrüstung der Fahrzeuge angewendet.

Als Vorreiter für eine großflächige Anwendung von Bioethanol gilt Brasilien, wo es aus Kostengründen in Zusammenhang mit gestiegenen Rohölpreisen und der guten Rohstoffverfügbarkeit bereits seit den 1970er Jahren hergestellt und als Kraftstoff eingesetzt wurde. Dieser Trend setzte sich neben vielen Regionen der Welt hauptsächlich in Amerika fort, wobei die USA heute den stärksten Markt von Bio-Ethanol darstellen. In den USA fordert die „Energy Policy Act of 2005“ eine Erhöhung der Biokraftstoffanteils [92]. In Diagramm 18 ist die Marktverteilung der Biodieselproduktionen des Jahres 2006 dargestellt.

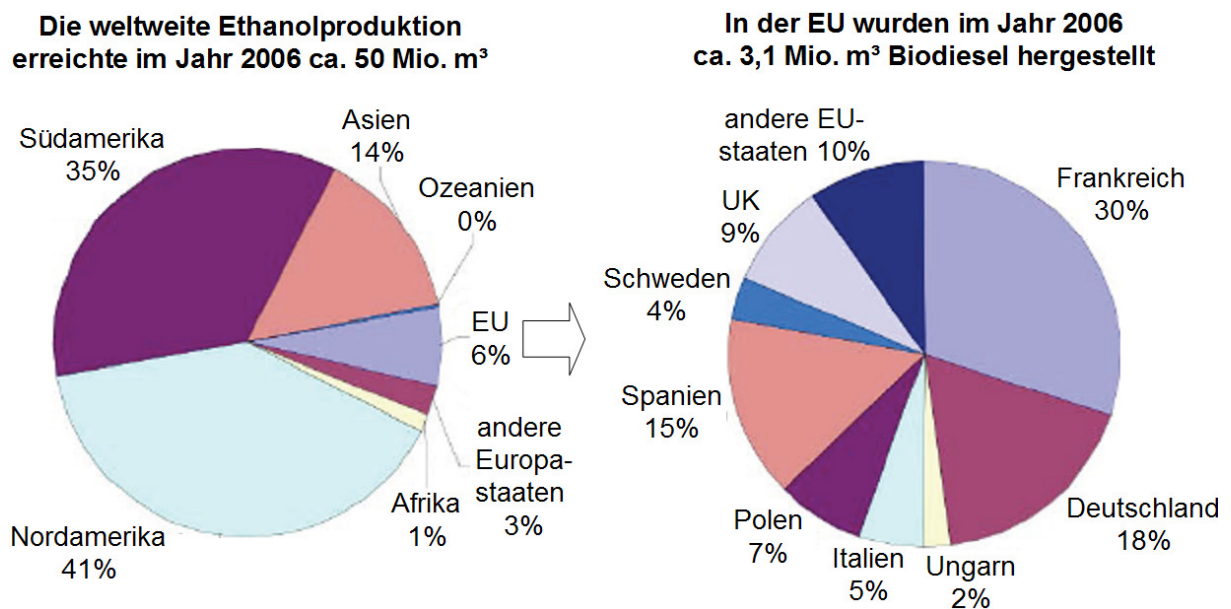
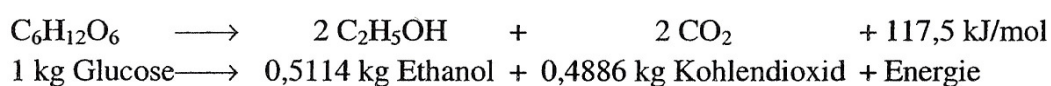


Diagramm 18: Weltweite Bioethanolproduktion im Jahr 2006 [93]

Herstellung

Alkohole können - im Unterschied zu Pflanzenölen - nicht direkt aus Pflanzen gewonnen werden, sondern müssen durch eine alkoholische Gärung aus pflanzlichen Rohstoffen erzeugt werden. Bei der Gärung werden Kohlenhydrate mit Hilfe von Mikroorganismen gespalten und über mehrere Zwischenprodukte zu Ethanol umgewandelt.

Die Umsetzung von Traubenzucker durch Hefen erfolgt nach folgender Bruttogleichung:



Für diese Art der Ethanolerzeugung können alle Substrate verwendet werden, die vergärbare Zucker oder in vergärbare Zucker überführbare Bestandteile enthalten. Dazu zählen neben zuckerhaltigen Pflanzenkomponenten (u. a. Zuckerrübe, Zuckerhirse) auch stärkehaltige (z. B. Kartoffel, Getreide) und zellulosehaltige organische Stoffe (z. B. Holz, Stroh). Stärke und Zellulose sind Polysacharide und damit nicht direkt vergärbar, sie müssen zunächst gespalten werden. Davon abgesehen unterscheidet sich die Ethanolgewinnung aus stärke- und zellulosehaltigen Biomassen nicht von denjenigen aus zuckerhaltiger organischer Masse. Die Aufbereitung zellulosehaltiger Pflanzenteile ist allerdings sehr aufwendig und wird hier nicht weiter betrachtet.

Die gewonnene zuckerhaltige Lösung wird mit Hilfe von Hefen biochemisch umgesetzt. Die vergorene Flüssigkeit enthält anschließend 7-10 Vol.-% Alkohol. Er wird durch Destillation bzw. Rektifikation abgetrennt, der verbleibende Rückstand wird als Schlempe bezeichnet. Durch Destillation und Rektifikation kann eine Reinheit des Ethanols von bis zu 97,2 Vol.-% erreicht werden. Um eine höhere Reinheit zu erzielen, ist ein weiterer Aufarbeitungsschritt erforderlich, der als Absolutierung (Entwässerung) bezeichnet wird. Die Schritte der Ethanolgewinnung sind in Abbildung 48 dargestellt. [94]

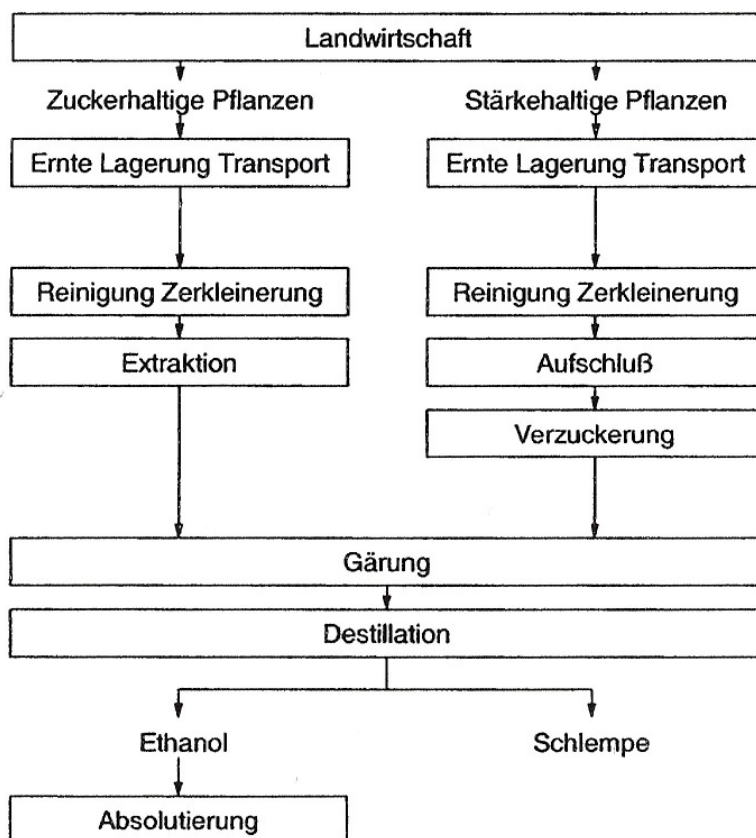


Abbildung 48: Herstellungsschritte bei der Gewinnung von Bio-Ethanol [95]

Merkmale von Bio-Ethanol [96]

- heimische erneuerbare Ressourcen nutzbar
- CO₂-Reduktion von bis zu 65% möglich (Hängt von Herstellungsverfahren ab)
- Höhere Oktanzahl
 - Ethanol kann als Oktanzahlverbesserer eingesetzt werden
 - Höheres Kompressionsverhältnis möglich, somit bessere Verbrennungseffizienz
- Höhere Verdampfungswärme
 - kann zur Steigerung der Motorleistung eingesetzt werden
 - schlechte Kaltstarteigenschaften
- Niedrige Energiedichte
 - ca. 35% niedrigere Energiedichte im Vergleich zu Benzin
 - Reduzierte Fahrzeugreichweite
 - Evtl. Erhöhung der Kraftstoffpumpenkapazität oder Injektordurchflussmengen erforderlich
- Anpassung der Motorelektronik um Ethanolbeimischungen zu erkennen und Motorsteuerung entsprechend anzupassen
 - Einsatz von Kraftstoffsensoren (oder algorithmische Erkennung)
 - Anpassung der Mengensteuerung und Zündkerzen an Kraftstoffcharakteristik

3.3.2 Auswirkungen von Bio-Ethanol auf die KVA

In den folgenden Punkten werden die wesentlichsten und für die Kraftstoffversorgungsanlage ausschlaggebenden Auswirkungen von Bioethanol aufgezeigt.

HC-Emissionen

Durch seine kleine Molekülgröße und hohe chemische Löslichkeit führt Bioethanol zu erhöhten Verdunstungsemissionen. In diesem Punkt liegt das wesentlichste Merkmal für seine Eigenschaften im Zusammenhang mit Kraftstoffsystemen.

Bei HDPE-Kunststofftanks steigt die Permeationsrate durch Ethanolbeimischung um ein Vielfaches. Im Diagramm 19 wird anhand der Messung an einem fluoriertem KKB sichtbar, dass sich das Maximum der Permeation bei einem Ethanolanteil zwischen ca. 10 und 20% einstellt. Dieser Zusammenhang wird dadurch erklärt, dass bei Mischungsverhältnissen in dieser Größenordnung nicht ausreichend Ethanol zum Binden von Wasserstoffatomen im Kraftstoff verfügbar ist. Dadurch beginnt das Ethanol sich wie Propan zu verhalten und verursacht erhöhte Emissionen. Eine weitere Erhöhung des Zumischungsanteils von Ethanol zu Benzinkraftstoff wirkt sich rückläufig auf die Permeationsrate aus.

Zusätzlich wird in dem Diagramm zum Vergleich das Verhalten einer mehrschichtigen COEX-Tankblase gezeigt.

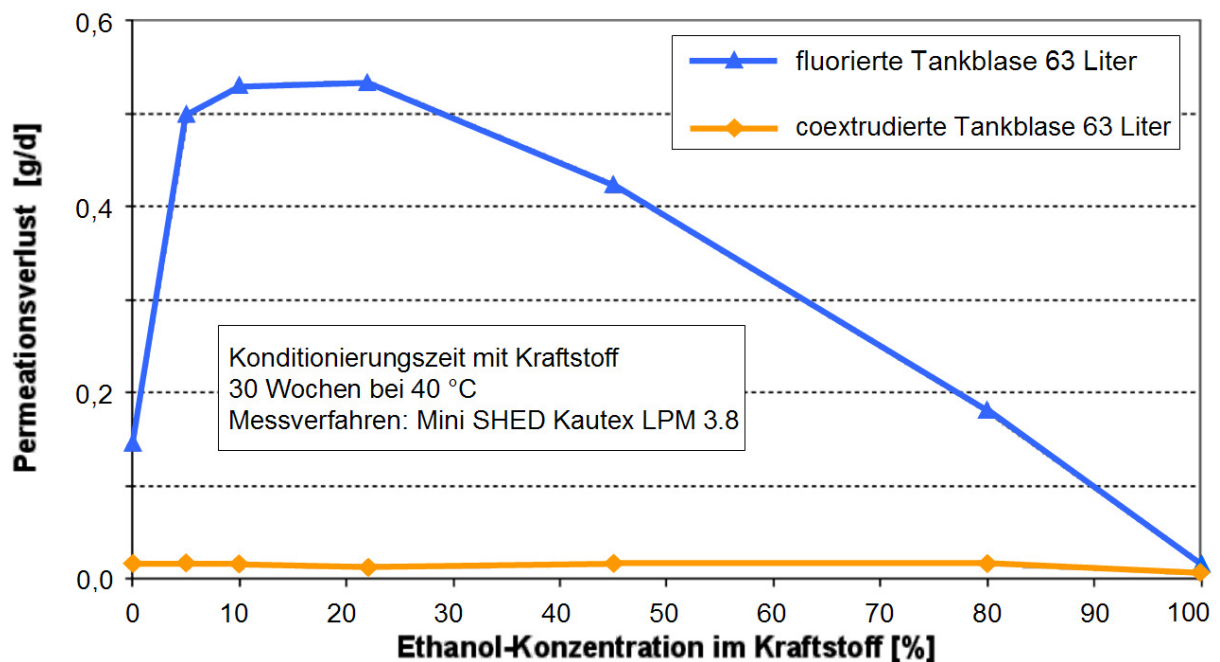


Diagramm 19: Permeationsmessungen eines KKB unter Einfluss von Ethanol [97]

Im Zusammenhang mit den gesteigerten Verdunstungsemissionen führt Ethanol zu verschärften Anforderungen an Kraftstoffsysteme.

Korrosion

Materialinkompatibilität zwischen Ethanol und metallischen Materialien kann zu starker Korrosion führen. Der Wassergehalt, Säureanteil oder bestimmte chemische Eigenschaften des Alkoholkraftstoffes, sowie Anwesenheit von Kupfer oder dessen Legierungen beschleunigen die Korrosion. Weiters sind andische Weichmetalle wie Aluminium, Bronze, Blei, Magnesium oder Zink stark von Korrosion gefährdet. Aus diesem Grund ist bei ethanolhaltigem Kraftstoff die Verwendung der genannten Metallwerkstoffe in Kraftstoffsystemen zu vermeiden.

Auswirkungen von Elastomerwerkstoffen

Verglichen mit üblichem Benzinkraftstoff bewirkt Bioethanol höhere Materialquellung. Wie im Diagramm 20 dargestellt nimmt die Quellung durch Steigerung der Ethanolbeimischungsrate zu.

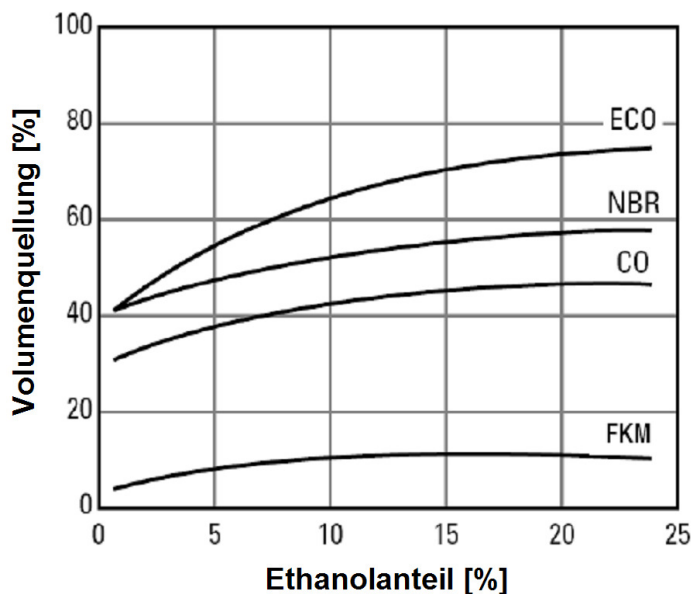


Diagramm 20: Einfluss des Ethanolanteils im Kraftstoff auf Materialquellung [98]

Weiters führt die Einwirkung von Ethanolkraftstoff, ähnlich wie bei Biodiesel, zu einer Beschädigung von Elastomerwerkstoffen. Undichtigkeiten an Dichtungen und Schlauchverbindungen sind zu erwarten.

3.3.3 Technische Maßnahmen für den Einsatz von Bio-Ethanol

Für die Reduktion von Kraftstoffemissionen durch die Beimischung von Bioethanol können sämtliche in Kapitel 2.3 beschriebenen Maßnahmen herangezogen werden.

Um metallische Werkstoffe in Kraftstoffsystemen für eine Verwendung von Bioethanol tauglich zu machen sind materialtechnische Abhilfemaßnahmen erforderlich. Hierbei kann mit der Verwendung von Edelstahl eine ausreichende chemische Beständigkeit erreicht werden. Für elektrische Kontakte, beispielsweise an Steckeranschlüssen, Kraftstoffpumpen, Drucksensoren oder Füllstandsignalgebern, werden zur Steigerung der Korrosionsbeständigkeit teilweise Goldbeschichtungen eingesetzt.

Bei Elastomermaterialien gilt FKM als Erste Wahl in Flexfuelanwendungen.

3.4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Verfügbarkeit von fossilen Kraftstoffen ist, wie im Diagramm 21 dargestellt, auf einen absehbaren Zeitraum begrenzt. Verschiedene Studien belegen diesen Zusammenhang und weisen auf weitreichende globale Auswirkungen hin.

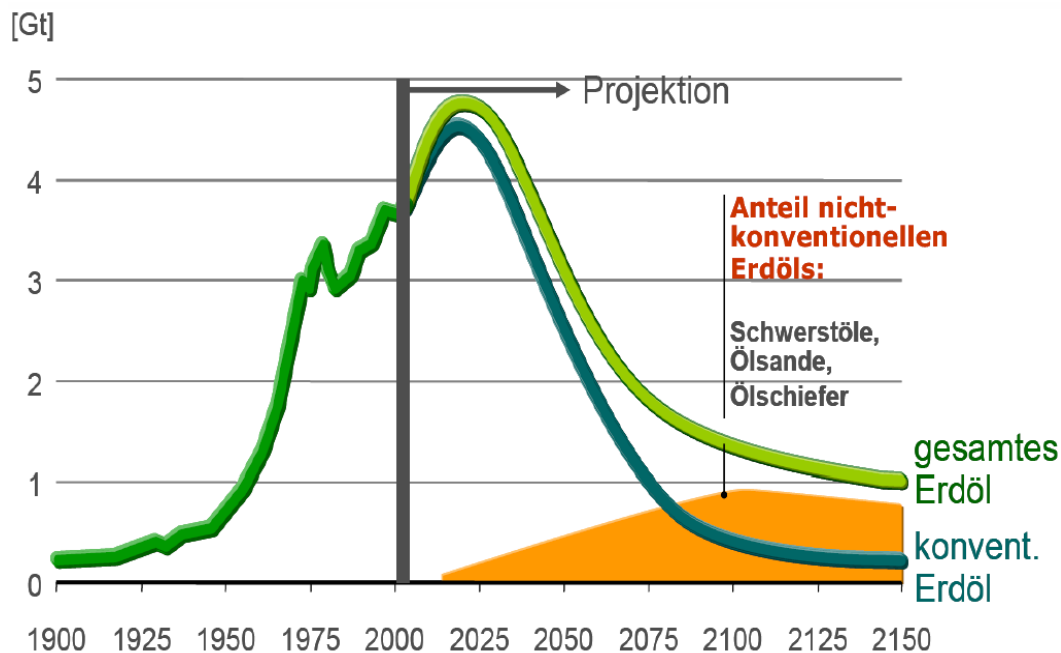


Diagramm 21: Weltweite Ölförderung zwischen 1900 und 2050 [99]

Als Alternative für die aus Erdöl hergestellten Kraftstoffe besitzen biologische Kraftstoffe aus verschiedensten Gesichtspunkten, wie auch Umweltschutz, große Attraktivität und wurden in den letzten Jahren zunehmend am Markt verbreitet.

Trotz Kontroversen ist auch weiterhin ein starker Trend zur vermehrten Nutzung von biologischen Kraftstoffen zu erwarten. In verschiedenen Ländern legen Fahrzeughersteller ihre Produkte bereits biokraftstofftauglich aus, um sich am Markt etablieren zu können und werden teilweise durch Beimischungsgesetze und der Verwendung von dahingehend veränderten Testkraftstoffen schon in der Entwicklung zu einer Berücksichtigung von Biokraftstoffen angehalten.

Biodiesel und Bioethanol haben zur Zeit das größte Anwendungsvolumen und sind auch während den nächsten Jahren in dieser Rolle zu erwarten. Erst langfristig, wenn der Rohölpreis durch Verknappung eine außergewöhnliche Höhe erreicht, dürfte der Trend zu biologischen Kraftstoffen der zweiten Generation, also synthetischen Kraftstoffen, den realen Kraftstoffmarkt erreichen.

Biodiesel schafft neue Anforderungen hinsichtlich mechanischer Eigenschaften von Kraftstoffsystemen. Zum Einen führt die chemische Aggressivität von RME zu starken Beschädigungen an kraftstoffführenden Komponenten. Die Abhilfemaßnahmen sind in der Verbesserung oder entsprechender Wahl von Materialien zu finden.

Zum Anderen fordern die nachteiligen Fließeigenschaften von Biodiesel den Einsatz von verschiedenen Einrichtungen, um speziell bei kalten Temperaturen die Kraftstoffversorgung aufrecht zu erhalten.

Bioethanol erfordert durch seine chemischen Eigenschaften auch Materialverbesserungen wegen Beeinträchtigungen in ähnlicher Form wie bei Biodiesel. Die zweite und für das Kraftstoffsystem sehr wesentliche Auswirkung ist jedoch seine Eigenschaft, Verdunstungsemissionen zu erhöhen.

In Folge dessen steigen die Anforderungen sämtlicher emissionsrelevanter Baugruppen und Komponenten hinsichtlich ihrer Tauglichkeit für Emissionsverhinderung an, was aufwendige Technologien für Bauweise, Herstellung und Materialtechnik erfordert. Die Auswirkung auf die Kraftstoffanlage hinsichtlich der Emissionsproblematik steigt mit der zunehmenden Anwendung von Ethanolkraftstoff, welche durch Beimischungsverpflichtungen und der ersichtlichen Tendenz am Markt anzunehmen ist.

Damit entsteht ein langfristiger Zusammenhang zwischen biologischen Kraftstoffen und Verdunstungsemissionen.

Literaturverzeichnis

- [1] vgl. Meinig, Uwe ...: Emissionen aus Kraftstoffsystemen von PKWs – Renningen : expert-Verlag, 2002. – 53 S.
Fahrzeuggrafik: ATZ-Extra Mercedes GLK-Klasse. URL:
<<http://www.atzonline.de/Artikel/3/8459/Kompakter-Erfolgstyp-mit-Charakter.html>>,
S.7, verfügbar am 24.07.2009
- [2] vgl. Meinig, Uwe ...: Emissionen aus Kraftstoffsystemen von PKWs – Renningen : expert-Verlag, 2002. – S. 52 ff.
- [3] vgl. Meinig, Uwe ...: Emissionen aus Kraftstoffsystemen von PKWs – Renningen : expert-Verlag, 2002. – S. 53
- [4] vgl. Runkel, Jürgen: Permeationsminderung - Eine Herausforderung an die Blasformtechnik; Fa. Kautex Textron, 2007-05-25. S. 5 ff.
- [5] vgl. Meinig, Uwe ...: Emissionen aus Kraftstoffsystemen von PKWs – Renningen : expert-Verlag, 2002. – S.53
- [6] vgl. Runkel, Jürgen: Permeationsminderung - Eine Herausforderung an die Blasformtechnik; Fa. Kautex Textron, 2007-05-25. S. 12
- [7] Statistik Austria: telefonische Auskunft: Anschluss +43 (1) 71128-7070, 14. Juli 2009
- [8] Statistik Austria: Bestand an Kraftfahrzeugen 2008. URL:
<http://www.statistik.at/web_de/static/kfz-bestand_2008_035580.pdf>,
verfügbar am 26.07.2009
- [9] Verordnungen des Europäischen Parlaments und des Rates:
EWG/70/220 Abgas
- [10] vgl. Schmidt, Cristof.: Fa. Mahle Filtersysteme GmbH: Entwicklungsschritte für die kalifornische Gesetzgebung – Vortrag: Tagung Emissionen aus Kraftstoffsystemen von PKW's – Essen: 2001-02-21. S. 24
- [11] Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates:
Tabelle 3 – Grenzwert für Verdunstungsemissionen
- [12] Verordnung (EG) Nr. 692/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates:
Anhang IX - Ottokraftstoff
- [13] Verordnungen des Europäischen Parlaments und des Rates:
EWG/70/220 Abgas, Anhang VI, Prüfung Typ IV, Abbildung VI.1
- [14] vgl. U.S.Environmental Protection Agency: Testing and Measuring Emissions:
URL:<<http://www.epa.gov/nvfel/testing/index.htm>> verfügbar am 27.07.2009

-
- [15] vgl. Mercedes-Benz: Abgasemissionen PKW und leichte Nutzfahrzeuge; Broschüre , 05/2005. S. 22
- [16] Mercedes-Benz: Abgasemissionen PKW und leichte Nutzfahrzeuge; Broschüre , 05/2005. S. 22
- [17] vgl. U.S.Environmental Protection Agency: On-Board Diagnostics: URL:< <http://www.epa.gov/obd/regtech/light.htm>> verfügbar am 27.07.2009
- [18] vgl. Bosch: Grundlagen Gesetzesanforderungen: Motronic Systemschulungen, 2004. S.30
- [19] vgl. Californian Air Ressources Board: California Code of Regulations–Title 13–Divison 3– §1976
- [20] vgl. Californian Air Ressources Board: California Code of Regulations–Title 13–Divison 3– §1976
- [21] vgl. Mercedes-Benz: Abgasemissionen PKW und leichte Nutzfahrzeuge; Broschüre , 05/2005. S. 29 ff.
- [22] vgl. Californian Air Ressources Board: California Code of Regulations–Title 13–Divison 3– §1968.2
- [23] vgl. Runkel, Jürgen: Permeationsminderung - Eine Herausforderung an die Blasformtechnik; Fa. Kautex Textron, 2007-05-25. S. 16 ff.
- [24] vgl. Runkel, Jürgen: Permeationsminderung - Eine Herausforderung an die Blasformtechnik; Fa. Kautex Textron, 2007-05-25. S. 13
- [25] vgl. Runkel, Jürgen: Permeationsminderung - Eine Herausforderung an die Blasformtechnik; Fa. Kautex Textron, 2007-05-25. S. 14 ff.
- [26] Dobmaier, Andreas: Plastic fuel tanks – Requirements and possibilities: Fa. TI Automotive; Vortrag CTI Forum 2006 – 2006-06-20. S. 11
- [27] vgl. Runkel, Jürgen: Permeationsminderung - Eine Herausforderung an die Blasformtechnik; Fa. Kautex Textron, 2007-05-25. S. 15
- [28] vgl. Runkel, Jürgen: Permeationsminderung - Eine Herausforderung an die Blasformtechnik; Fa. Kautex Textron, 2007-05-25. S. 14
- [29] vgl. Wagner, Thomas: Materials in biofuel environment: Fa. TI Automotive; Vortrag Tank Tech 2007 – 2007-11-08. S. 28
- [30] vgl. Wagner, Thomas: Materials in biofuel environment: Fa. TI Automotive; Vortrag Tank Tech 2007 – 2007-11-08. S. 27
- [31] Criel, Bjorn: Twin Sheet Blow Moulding TSBM: Fa. Inergy Automotive Systems: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-28. S. 20

-
- [32] Goppelt, Gernot: Neue Tanksysteme für eine saubere Zukunft: ATZ-online. URL: <<http://www.atzonline.de/Artikel/3/1065/Neue-Tanksysteme-fuer-eine-saubere-Zukunft.html>>, verfügbar am 24.07.2009
- [33] vgl. Hirschmann, Albert: Herstellung von Kunststoffkraftstofftanks im "Twin Sheet" Tiefziehverfahren: Fa. Delphi: Vortrag CTI Forum 2007 – 2008-05-23. S. 2
- [34] Hirschmann, Albert: Herstellung von Kunststoffkraftstofftanks im "Twin Sheet" Tiefziehverfahren: Fa. Delphi: Vortrag CTI Forum 2007 – 2008-05-23. S. 3
- [35] Coutandin, Jochen: Coextrudierte Kunststoffplatten für KKB: Fa. SIMONA AG: Vortrag CTI Forum 2007 – 2008-05-23. S. 7
- [36] vgl. Inergy Produktbroschüre: Plastic PZEV-Fuel System: Fa. Inergy Automotive Systems, Tank Tech 2007 – 2007-11-08. S. 2
- [37] Coutandin, Jochen: Coextrudierte Kunststoffplatten für KKB: Fa. SIMONA AG: Vortrag CTI Forum 2007 – 2008-05-23. S. 23
- [38] Coutandin, Jochen: Coextrudierte Kunststoffplatten für KKB: Fa. SIMONA AG: Vortrag CTI Forum 2007 – 2008-05-23. S. 13
- [39] Hirschmann, Albert: Herstellung von Kunststoffkraftstofftanks im "Twin Sheet" Tiefziehverfahren: Fa. Delphi: Vortrag CTI Forum 2007 – 2008-05-23. S. 4
- [40] Hirschmann, Albert: Herstellung von Kunststoffkraftstofftanks im "Twin Sheet" Tiefziehverfahren: Fa. Delphi: Vortrag CTI Forum 2007 – 2008-05-23. S. 6
- [41] vgl. Criel, Bjorn: Twin Sheet Blow Moulding TSBM: Fa. Inergy Automotive Systems: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-28. S. 8
- [42] Criel, Bjorn: Twin Sheet Blow Moulding TSBM: Fa. Inergy Automotive Systems: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-28. S. 14
- [43] vgl. Wouters, Paul: Breakthrough Plastic Fuel Tank Technology: Fa. Inergy Automotive Systems: Vortrag Tank Tech 2005 – 2005-11-09. S. 9
- [44] vgl. Inergy Produktbroschüre: Plastic PZEV-Fuel System: Fa. Inergy Automotive Systems, Tank Tech 2007 – 2007-11-08. S. 2
- [45] vgl. Pozgainer, Günther: Steel Tank in Modern Automotive Engineering: Fa. Magna Steyr Fuel Systems: Vortrag Tank Tech 2005 – 2005-11-09. S. 19
- [46] vgl. Pozgainer, Günther: Steel Tank in Modern Automotive Engineering: Fa. Magna Steyr Fuel Systems: Vortrag Tank Tech 2005 – 2005-11-09. S. 3
- [47] Ludwig, Hans-Josef ...: Kraftstoffleitungssysteme – Landsberg/Lech : Verlag Moderne Industrie, 1998. - Seite 19
-

-
- [48] Mahle International GmbH. <sales.@mahle.com> ; Mahle Aktivkohlefilter. URL: <[http://www.mahle.com/C125713200619F8F/vwContentByUNID/A7F33D56FC15E73AC125741A003AB86A/\\$FILE/Performance_108_de.pdf](http://www.mahle.com/C125713200619F8F/vwContentByUNID/A7F33D56FC15E73AC125741A003AB86A/$FILE/Performance_108_de.pdf)>, verfügbar am 24.07.2009
- [49] Guderian, Joachim; Sohnemann, Jens; Heil, Volker: Fa. German Carbon Teterow GmbH: Aktivkohle zur Abscheidung von Kohlenwasserstoffen im Fahrbetrieb, im Stillstand und bei Betankung – Vortrag: Tagung Emissionen aus Kraftstoffsystemen von PKW's – Essen: 2001-02-21. S. 5
- [50] vgl. Catton, Pierce: Approaching Zero Bleed Emissions – superefficient Acticated Carbon Canister – Fa. MAST Automotive Ltd.: Vortrag Tank Tech 2005 – 2005-11-09. S. 3
- [51] Kobayashi Masahide: Fuel Tank System for Hybrid Vehicles: Fa. Toyota Motor Corporation; Vortrag Tank Tech 2007 – 2007-11-08. S. 5
- [52] vgl. Meinig, Uwe ...: Emissionen aus Kraftstoffsystemen von PKWs – Renningen : expert-Verlag, 2002. – 91 S.
- [53] Ludwig, Hans-Josef ...: Kraftstoffleitungssysteme – Landsberg/Lech : Verlag Moderne Industrie, 1998. - Seite 33
- [54] vgl. Ludwig, Hans-Josef ...: Kraftstoffleitungssysteme – Landsberg/Lech : Verlag Moderne Industrie, 1998. - Seite 33 ff.
- [55] vgl. Ludwig, Hans-Josef ...: Kraftstoffleitungssysteme – Landsberg/Lech : Verlag Moderne Industrie, 1998. - Seite 43
- [56] vgl. Ludwig, Hans-Josef ...: Kraftstoffleitungssysteme – Landsberg/Lech : Verlag Moderne Industrie, 1998. - Seite 44
- [57] vgl. Meinig, Uwe ...: Emissionen aus Kraftstoffsystemen von PKWs – Renningen : expert-Verlag, 2002. – 158 S.
- [58] Kertesz Janos: Tank und Kraftstoffsysteme: Fa. NORMA Germany GmbH: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-27. S. 4
- [59] vgl. Kertesz Janos: Tank und Kraftstoffsysteme: Fa. NORMA Germany GmbH: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-27. S. 22
- [60] Kertesz Janos: Tank und Kraftstoffsysteme: Fa. NORMA Germany GmbH: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-27. S. 34
- [61] vgl. Kertesz Janos: Tank und Kraftstoffsysteme: Fa. NORMA Germany GmbH: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-27. S. 40
- [62] vgl. Kertesz Janos: Tank und Kraftstoffsysteme: Fa. NORMA Germany GmbH: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-27. S. 48 ff.
-

-
- [63] Offenlegungsschrift DE 101 00 128 A 1 (2001-08-09). Tesma Motoren- und Getriebetechnik Ges.m.b.H.
- [64] Offenlegungsschrift DE 101 55 541 A 1 (2002-06-06). Tesma Motoren- und Getriebetechnik Ges.m.b.H.
- [65] vgl. Criel, Bjorn: Twin Sheet Blow Moulding TSBM: Fa. Inergy Automotive Systems: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-28. S. 3
- [66] vgl. Wagner, Ulrich: Energieverknappung und Klimawandel: Technische Universität München: Vortrag Tank Tech 2007 – 2007-11-08. S. 9
- [67] Lahl, Uwe; Knobloch, Tore: Beimischungsgesetz und Biokraftstoffstrategie der BR.– Vorbild f. d. EU-Strategie f. Kraftstoffe und d. Ratspräsidentschaft D. 2007. URL: <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/lahl_biokraftstoffquotengesetz.pdf>, verfügbar am 26.07.2009
- [68] Engelen, B.: Automotive Fuels and Biofuels: Fa. TOTAL; Vortrag Tank Tech 2007 – 2007-11-08. S. 27
- [69] Engelen, B.: Automotive Fuels and Biofuels: Fa. TOTAL; Vortrag Tank Tech 2007 – 2007-11-08. S. 18
- [70] vgl. Bristle, Jan: Die Verwendung von Ethanol als Kraftstoff, insbesondere in Dieselmotoren. – 2008. – S. 57. Nürtingen-Geislingen, Hochschule für Wirtschaft und Umwelt, Studiengang Agrarwirtschaft, Diplomarbeit, 2008
- [71] Schindler, Volker: Kraftstoffe f. morgen – Unterschleißheim: Springer Verlag, 1997. - S. 104
- [72] Bauer, Horst...: Kraftfahrtechnisches Taschenbuch – 22. Aufl. - Stuttgart: VDI - Verlag, 1995. – S.188
- [73] vgl. Schindler, Volker: Kraftstoffe für morgen – Unterschleißheim: Springer Verlag, 1997. - S. 90
- [74] vgl. Fischer, Friedrich; Lack, Achim: Biokraftstoffe – 1. Aufl. - Würzburg: Vogel-Fachbuch Verlag, 2007. 127 S. ff.
- [75] vgl. Stelzer, Thomas: Biokraftstoffe im Verg. zu konv. Kraftstoffen – 1998- S.110 Stuttgart, Universität, Fakultät der Energietechnik, Dissertation, 1999
- [76] vgl. Carus, Michael: Biokraftstoffe im Kontext der weltweiten Energiewende. URL: <<http://www.google.at/url?q=http://www.biokraftstoff-Portal.de/data/File/NRW/Veranstaltungen/Carus.pdf>>, verfügbar am 24.07.2009 – S. 13
- [77] vgl. Stelzer, Thomas: Biokraftstoffe im Vergl. zu konv. Kraftstoffen – 1998- S.35 ff. Stuttgart, Universität, Fakultät der Energietechnik, Dissertation, 1999
-

-
- [78] Stelzer, Thomas: Biokraftstoffe im Vergl. zu konv. Kraftstoffen – 1998- S.35.
Stuttgart, Universität, Fakultät der Energietechnik, Dissertation, 1999
- [79] vgl. Wagner, Thomas: Materials in biofuel environment: Fa. TI Automotive;
Vortrag Tank Tech 2007 – 2007-11-08. S. 7
- [80] vgl. Keppeler, Stefan: Alternative Kraftstoffe für PKW – Workshop Fa. BASF,
2006-11-21. S. 14
- [81] vgl. Schmitz, Harald: Biodiesel and HDPE – New products from LyondellBasell for
PFT: Fa. Basell Polyolefine GmbH: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-27. S. 19
- [82] vgl. Schmitz, Harald: Biodiesel and HDPE – New products from LyondellBasell for
PFT: Fa. Basell Polyolefine GmbH: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-27. S. 20
- [83] vgl. Schmitz, Harald: Biodiesel and HDPE – New products from LyondellBasell for
PFT: Fa. Basell Polyolefine GmbH: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-27. S. 18
- [84] vgl. Schmitz, Harald: Biodiesel and HDPE – New products from LyondellBasell for
PFT: Fa. Basell Polyolefine GmbH: Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-27. S. 15
- [85] vgl. Thomas Lindner: Biodiesel in PFT: Fa. Basell Polyolefine GmbH:
Vortrag – 2008-10-01. S. 7 ff.
- [86] vgl. Thomas Lindner: Biodiesel in PFT: Fa. Basell Polyolefine GmbH:
Vortrag – 2008-10-01. S. 16.
- [87] Wagner, Thomas: Materials in biofuel environment: Fa. TI Automotive;
Vortrag Tank Tech 2007 – 2007-11-08. S. 22
- [88] Dobmaier, Andreas: Plastic fuel tanks – Requirements and possibilities:
Fa. TI Automotive; Vortrag CTI Forum 2007 – 2007-05-23. S. 29
- [89] Rinnbauer, Meike: Viol, Michael: Peterseim, Volker: Sealing solutions for the use in
alternative fuels: Fa. Freudenberg Dichtungs- und Schwingungstechnik GmbH.:
Vortrag CTI Forum 2008 – 2008-05-28. S. 4
- [90] vgl. Fischer, Friedrich: Lack, Achim: Biokraftstoffe – 1. Aufl. - Würzburg: Vogel-
Fachbuch Verlag, 2007. S.48 ff.
- [91] vgl. Ludwig, Hans-Josef ...: Kraftstoffleitungssysteme – Landsberg/Lech : Verlag
Moderne Industrie, 1998. 28 S.
- [92] vgl. Bristle, Jan: Die Verwendung von Ethanol als Kraftstoff, insbesondere in
Dieselmotoren. – 2008. – S. 24. Nürtingen-Geislingen, Hochschule für Wirtschaft
und Umwelt, Studiengang Agrarwirtschaft, Diplomarbeit, 2008

-
- [93] vgl. Carus, Michael: Biokraftstoffe im Kontext der weltweiten Energiewende. URL: <<http://www.google.at/url?q=http://www.biokraftstoff-Portal.de/data/File/NRW/Veranstaltungen/Carus.pdf>>, verfügbar am 24.07.2009 – S. 12
- [94] vgl. Stelzer, Thomas: Biokraftstoffe im Vergl. zu konv. Kraftstoffen – 1998- S.62 ff. Stuttgart, Universität, Fakultät der Energietechnik, Dissertation, 1999
- [95] Stelzer, Thomas: Biokraftstoffe im Vergl. zu konv. Kraftstoffen – 1998- S.62. Stuttgart, Universität, Fakultät der Energietechnik, Dissertation, 1999
- [96] vgl. Keppeler, Stefan: Alternative Kraftstoffe für PKW – Workshop Fa. BASF, 2006-11-21. S. 19
- [97] vgl. Runkel, Jürgen: Permeationsminderung - Eine Herausforderung an die Blasform-technik; Fa. Kautex Textron, 2007-05-25. S. 5 ff.
- [98] Wagner, Thomas: Materials in biofuel environment: Fa. TI Automotive; Vortrag Tank Tech 2007 – 2007-11-08. S. 20
- [99] vgl. Rempel, Hilmar: Biokraftstoffe Konventionelles Erdöl vor dem Aus?. URL: <http://www.g-o.de/index.php?cmd=aws_basics&id=5454>, verfügbar am 24.07.2009